

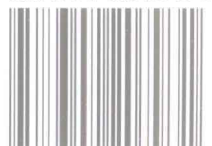
普通高等院校工程训练系列规划教材

机械工程实训

主 编 毛志阳

副主编 李月晶

ISBN 978-7-302-20793-1



9 787302 207931 >

定价：29.00元

普通高等院校工程训练系列规划教材

机械工程实训

主 编 毛志阳

副主编 李月晶

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据教育部颁布的“工程材料及机械制造基础”的教学基本要求,并结合有关高校工程训练中心的实训情况及作者多年的教学实践编写而成,全书共12章,内容包括工程材料基础知识,钢的热处理,铸造,锻压成形,焊接,切削加工的基本知识,车削加工,钳工与产品拆装,铣削、刨削、磨削和精密加工,数控加工技术,特种加工,粉末冶金与非金属材料成形工艺等。

本书可作为高等工科院校机类、近机类专业使用的教材,也可作为高职和成人教育等学校工科学生使用和参考的教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械工程实训 / 毛志阳主编. —北京:清华大学出版社, 2009.9

(普通高等院校工程训练系列规划教材)

ISBN 978-7-302-20793-1

I. 机… II. 毛… III. 机械工程—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 154156 号

责任编辑:庄红权

责任校对:王淑云

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.25 字 数:370 千字

版 次:2009 年 9 月第 1 版 印 次:2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。

联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:033001-01



改革开放以来,我国贯彻科教兴国、可持续发展的伟大战略,坚持科学发展观,国家的科技实力、经济实力和国际影响力大为增强。如今,中国已经发展成为世界制造大国,国际市场上已经离不开物美价廉的中国产品。然而,我国要从制造大国向制造强国和创新强国过渡,要使我国的产品在国际市场上赢得更高的声誉,必须尽快提高产品质量的竞争力和知识产权的竞争力。清华大学出版社和本编审委员会联合推出的普通高等院校工程训练系列规划教材,就是希望通过工程训练这一培养本科生的重要窗口,依靠作者们根据当前的科技水平和社会发展需求所精心策划和编写的系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的人才。

我们知道,大学、大专和高职高专都设有各种各样的实验室。其目的是通过这些教学实验,使学生不仅能比较深入地掌握书本上的理论知识,而且能够掌握实验仪器的操作方法,领悟实验中所蕴涵的科学方法。但由于教学实验与工程训练存在较大的差别,因此,如果我们的的大学生不经过工程训练这样一个重要的实践教学环节,当毕业后步入社会时,就有可能感到难以适应。

对于工程训练,我们认为这是一种与社会、企业及工程技术的接口式训练。在工程训练的整个过程中,学生所使用的各种仪器设备都是来自社会企业的产品,有的还是现代企业正在使用的主流产品。这样,学生一旦步入社会,步入工作岗位,就会发现他们在学校所进行的工程训练,与社会企业的需求具有很好的一致性。另外,凡是接受过工程训练的学生,不仅为学习其他相关的技术基础课程和专业课程打下了基础,而且同时具有一定的工程技术素养,开始走向工程了。这样就为他们进入社会与企业,更好地融入新的工作群体,展示与发挥自己的才能创造了有利的条件。

近10年来,国家和高校对工程实践教育给予了高度重视,我国的理工科院校普遍建立了工程训练中心,拥有前所未有的、极为丰厚的教学资源,同时面向大量的本科学生群体。这些宝贵的实践教学资源,像数控加工、特种加工、先进的材料成形、表面贴装、数字化制造等硬件和软件基础设施,与国家的企业发展及工程技术发展密切相关。而这些涉及多学科领域的教学基础设施,又可以通过教师和其他知识分子的创造性劳动,转化和衍生出为适应我国社会与企业所迫切需求的课程与教材,使国家投入的宝贵资源发挥其应有的教育教学功能。

为此,本系列教材的编审,将贯彻下列基本原则:

(1) 努力贯彻教育部和财政部有关“质量工程”的文件精神,注重课程改革与

教材改革配套进行。

(2) 要求符合教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组所制定的课程教学基本要求。

(3) 在整体将注意力投向先进制造技术的同时,要力求把握好常规制造技术与先进制造技术的关联,把握好制造基础知识的取舍。

(4) 先进的工艺技术,是发展我国制造业的关键技术之一。因此,在教材的内涵方面,要着力体现工艺设备、工艺方法、工艺创新、工艺管理和工艺教育的有机结合。

(5) 有助于培养学生独立获取知识的能力,有利于增强学生的工程实践能力和创新思维能力。

(6) 融汇实践教学改革的最新成果,体现出知识的基础性和实用性,以及工程训练和创新实践的可操作性。

(7) 慎重选择主编和主审,慎重选择教材内涵,严格按照和体现国家技术标准。

(8) 注重各章节间的内部逻辑联系,力求做到文字简练,图文并茂,便于自学。

本系列教材的编写和出版,是我国高等教育课程和教材改革中的一种尝试,一定会存在许多不足之处。希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

普通高等院校工程训练系列规划教材编审委员会

主任委员:傅水根

2008年2月于清华园

近年来各高校纷纷成立了工程训练中心,原有的金工实习转变为工程实训,从内涵和实践教学内容上都有很大突破。工程训练是高等工科院校相关专业学生的必修课程,是学生实践与理论相结合的极好机会。本书结合工程训练的具体教学实践内容,拓宽了专业知识领域,为适应培养实用性、复合型人才的需求而编写。

本书的特点:

(1) 以大工程为背景,由浅入深,使学生全面了解工业生产制造的基本知识,培养学生分析和解决实际问题的能力,提高学生的工程素质和创新能力。

(2) 内容丰富,包括工程材料、热处理、铸锻焊、基本机械制造技术、现代制造技术、非金属材料加工等。尤其注重加强了数控技术、特种加工技术、非金属材料成形技术等方面的内容。

(3) 每个章节后有复习思考题。

(4) 重点突出,文字简练,叙述清楚,通俗易懂。

(5) 教材配有 PPT 课件。

本书由长春工业大学工程训练中心教师编写,参与编写的教师及分工为:于舵(第 1,3 章),赵健闯(第 2,4,5 章),李月晶(第 6,7 章),毛志阳(第 8,9 章),张卉(第 10 章第 1、2、3 节,11 章第 1、2、3、5~9 节),赵鑫(第 10.4 节和第 11.4 节),魏领会(第 12 章)。

本书由毛志阳任主编,并负责全书统稿。本书在编写的过程中参考了大量有关文献,在此向作者和出版社表示衷心感谢,并把参考文献列于书后。

由于编者的水平和经验有限,书中难免出现这样或那样的缺点和错误,恳请同行和读者批评指正。

编 者

2009 年 8 月



1	工程材料基础知识	1
1.1	工程材料概述及分类	1
1.2	金属材料的基本性能	1
1.2.1	金属材料的力学性能	1
1.2.2	金属材料的物理、化学及工艺性能	3
1.3	常用金属材料及其牌号	3
1.3.1	工业用钢	3
1.3.2	铸铁	5
1.3.3	非铁金属	6
1.4	钢铁材料的常用鉴别方法	7
1.4.1	火花鉴别法	7
1.4.2	色标鉴别法	8
1.5	非金属材料及其在工程上的应用	9
	复习思考题	11
2	钢的热处理	12
2.1	概述	12
2.2	钢的热处理工艺	12
2.3	热处理新技术	14
	复习思考题	15
3	铸造	16
3.1	概述	16
3.2	砂型铸造	16
3.2.1	型(芯)砂	17
3.2.2	造型	18
3.2.3	造芯方法及浇注系统	24
3.2.4	合型	26
3.2.5	金属的熔炼和浇注	27
3.2.6	铸件的落砂、清理和缺陷分析	27
3.3	特种铸造及铸造新工艺	29
3.3.1	熔模铸造	29
3.3.2	金属型铸造	30

3.3.3	压力铸造	30
3.3.4	离心铸造	31
3.3.5	实型铸造	32
	复习思考题	33
4	锻压成形	34
4.1	概述	34
4.2	锻造生产过程	34
4.2.1	坯料加热	34
4.2.2	锻件的冷却	36
4.2.3	热处理	37
4.3	自由锻	37
4.3.1	自由锻工具与设备	37
4.3.2	自由锻工序	38
4.3.3	典型自由锻锻件生产工艺实例	43
4.4	模锻与胎模锻	45
4.4.1	模锻	45
4.4.2	胎模锻	46
4.5	板料冲压	46
4.5.1	板料冲压的特点和应用	46
4.5.2	冲压设备	47
4.5.3	板料冲压的基本工序	48
	复习思考题	49
5	焊接	50
5.1	概述	50
5.2	焊接工艺基础	51
5.3	常用焊接材料	54
5.4	熔焊方法	56
5.4.1	手工电弧焊	56
5.4.2	气焊	59
5.4.3	气体保护焊	61
5.4.4	埋弧自动焊	62
5.5	现代先进的焊接方法	63
5.5.1	等离子弧焊接	63
5.5.2	电子束焊	64
5.5.3	激光焊接	65
5.6	切割	66
5.6.1	等离子弧切割	66
5.6.2	激光切割	66
5.7	焊接变形和焊接缺陷	66

5.8 焊接检验	68
复习思考题	70
6 切削加工的基本知识	71
6.1 切削加工概述	71
6.2 切削运动和切削用量	72
6.2.1 切削运动	72
6.2.2 切削用量	72
6.2.3 切削层参数	73
6.3 刀具材料及刀具的几何形状	73
6.3.1 刀具材料	73
6.3.2 刀具的几何形状	75
6.4 金属切削机床的分类与编号	78
6.5 常用量具及其使用方法	80
6.5.1 游标卡尺	80
6.5.2 百分尺	81
6.5.3 塞尺	83
6.5.4 直角尺	83
6.5.5 刀口尺	83
6.5.6 光滑极限量规	84
6.5.7 百分表	84
6.5.8 万能角度尺	85
6.6 零件加工质量及检测方法	86
6.6.1 精度	86
6.6.2 表面粗糙度	90
复习思考题	91
7 车削加工	92
7.1 概述	92
7.2 车床	93
7.2.1 车床的型号及组成	93
7.2.2 车床的传动系统	94
7.2.3 车床的维护保养和安全操作规程	94
7.3 车刀	95
7.3.1 车刀的种类和结构形式	95
7.3.2 车刀的刃磨	96
7.3.3 车刀的安装	96
7.4 工件安装及所用附件	97
7.4.1 三爪自定心卡盘安装工件	97
7.4.2 四爪单动卡盘安装工件	98
7.4.3 双顶尖安装工件	98



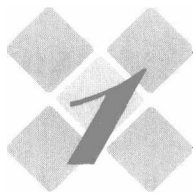
7.4.4	心轴安装工件	99
7.4.5	花盘安装工件	100
7.4.6	中心架和跟刀架的使用	100
7.5	车床操作基础	101
7.5.1	刻度盘的使用	101
7.5.2	粗车与精车	102
7.5.3	试切方法及步骤	103
7.6	车削加工	103
7.6.1	车外圆和台阶	103
7.6.2	车端面	104
7.6.3	孔加工	105
7.6.4	切槽和切断	106
7.6.5	车锥面	107
7.6.6	车回转成形面	108
7.6.7	车螺纹	109
7.6.8	滚花	112
7.7	典型零件的车削工艺	112
	复习思考题	114
8	钳工与产品拆装	115
8.1	概述	115
8.1.1	工艺特点及其应用范围	115
8.1.2	常用设备	115
8.2	划线	117
8.2.1	划线的用途和方法	117
8.2.2	划线工具和划线实例	118
8.3	锯削	120
8.4	锉削	122
8.4.1	锉刀结构及种类	122
8.4.2	锉削质量检查方法	124
8.5	钻孔、扩孔和铰孔	124
8.5.1	钻孔	124
8.5.2	扩孔	126
8.5.3	铰孔	126
8.6	螺纹加工	127
8.6.1	攻螺纹	127
8.6.2	套螺纹	129
8.7	装配与拆卸	130
8.7.1	装配概述	130
8.7.2	装配过程及装配工作	130

8.7.3	装配实例·····	132
8.7.4	常用轴承的装配方法·····	132
8.7.5	机器的拆卸·····	132
	复习思考题·····	133
9	铣削、刨削、磨削和精密加工 ·····	134
9.1	铣削加工 ·····	134
9.1.1	铣削运动及铣削要素·····	134
9.1.2	铣床及其附件·····	135
9.1.3	铣削加工方法·····	138
9.2	刨削加工 ·····	142
9.2.1	刨床及刨削工作·····	142
9.2.2	插削和拉削·····	145
9.3	磨削加工 ·····	147
9.3.1	普通磨削·····	147
9.3.2	磨削加工·····	152
9.3.3	高效磨削工艺·····	156
9.4	精密加工 ·····	158
9.4.1	刮削·····	158
9.4.2	研磨·····	160
9.4.3	其他精密加工简介·····	160
	复习思考题·····	161
10	数控加工技术 ·····	163
10.1	数控加工概述·····	163
10.1.1	概述·····	163
10.1.2	数控加工的特点·····	163
10.1.3	数控机床的工作原理·····	164
10.1.4	数控机床的组成及分类·····	164
10.1.5	数控机床的坐标系·····	166
10.1.6	数控编程基础·····	168
10.2	数控车削加工·····	171
10.2.1	数控车床简介·····	171
10.2.2	数控车削加工工艺过程·····	171
10.2.3	数控车床手工编程·····	172
10.2.4	综合实例·····	176
10.2.5	数控车床自动编程·····	177
10.2.6	数控车床加工操作·····	178
10.3	数控铣削加工·····	180
10.3.1	数控铣床简介·····	180
10.3.2	数控铣削加工工艺基础·····	182

10.3.3	数控铣削手工编程	184
10.3.4	数控铣床操作面板的功能与使用	189
10.4	加工中心	192
10.4.1	加工中心的分类	193
10.4.2	加工中心的主要加工对象	193
10.4.3	刀库与刀具交换装置	194
10.4.4	加工编程实例	195
	复习思考题	196
11	特种加工	197
11.1	概述	197
11.2	电火花加工	198
11.2.1	电火花加工的基本原理	198
11.2.2	电火花成形加工的基本条件	199
11.2.3	电火花成形机床简介	199
11.2.4	电火花成形加工的精度和表面质量	200
11.2.5	电火花成形加工的工艺特点和应用	201
11.3	数控电火花线切割加工	201
11.4	激光加工	202
11.5	超声波加工	204
11.6	电解加工	206
11.7	电子束加工	207
11.8	离子束加工	208
11.9	水喷射加工	209
	复习思考题	210
12	粉末冶金与非金属材料成形工艺	211
12.1	粉末冶金成形工艺	211
12.1.1	粉料制备	212
12.1.2	粉末成形方法	212
12.1.3	烧结	215
12.1.4	后处理	216
12.2	塑料成形工艺	216
12.2.1	注射成形	216
12.2.2	挤出成形	218
12.2.3	模压成形	219
12.2.4	压注成形	220
12.2.5	真空成形	220
12.2.6	吹塑成形	220
12.3	橡胶成形工艺	221
12.3.1	橡胶的模压成形	222

12.3.2	压延成形	222
12.3.3	注射成形	223
12.4	陶瓷材料的成形工艺	223
12.4.1	注浆成形	224
12.4.2	可塑成形	224
12.4.3	压制成形	224
12.5	复合材料的成形工艺	225
12.5.1	树脂基复合材料成形	225
12.5.2	金属基复合材料成形	228
12.5.3	陶瓷基复合材料成形	229
复习思考题		229
参考文献		230

工程材料基础知识



1.1 工程材料概述及分类

材料是用来制造机器零件、构件和其他可供使用物质的总称。材料是人类生产和生活的物质基础,材料的发展推动了人类社会的进步。工程材料的种类繁多,分类方法也很多,按其化学成分,可分为金属材料、无机非金属材料、有机非金属材料 and 复合材料。

1.2 金属材料的基本性能

金属材料是现代机械制造中最主要的材料,在各种机床、矿山机械、冶金设备、动力设备、农业机械、石油化工和交通运输机械中,金属制品占 80%~90%。金属材料之所以获得如此广泛的应用,主要是由于它具有机器制造所需要的物理、化学和力学性能,并且可用较简便的工艺方法加工成适用的机械零件。

1.2.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用下表现出来的性能,如强度、塑性、硬度和冲击韧性等。

1. 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形或断裂的能力。

进行拉伸试验可测定金属材料的力学性能。将标准拉伸试样(见图 1.1)夹持在拉伸试验机的两个夹头中,然后逐渐增加载荷,直至试样被拉断为止。将试样所受的载荷(F)和试样相应的伸长量(ΔL)的关系绘成曲线,称为拉伸曲线。图 1.1 所示为低碳钢的拉伸曲线。

强度通常以应力形式表示,单位截面积上所受的内力称为应力,用 σ 表示:

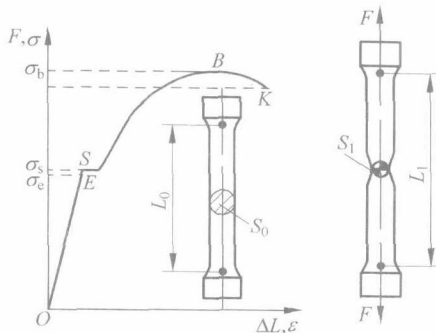


图 1.1 拉伸试样与低碳钢拉伸曲线

$$\sigma = F/S_0$$

1) 屈服强度

屈服强度以 σ_s 表示,指屈服点 S 处的应力值,即

$$\sigma_s = F_s/S_0 \text{ (MPa)}$$

式中, F_s 为试样产生屈服现象时承受的载荷, N; S_0 为试样原始的横截面积, mm^2 。

由于许多金属材料(如高碳钢、铸铁等)没有明显的屈服现象,所以工程中规定伸长率为 0.2% 塑性变形时的应力称为条件屈服强度(用 $\sigma_{0.2}$ 表示)。

2) 抗拉强度

抗拉强度以 σ_b 表示,是指材料在断裂前能承受的最大应力,即

$$\sigma_b = F_b/S_0 \text{ (MPa)}$$

式中, F_b 为试样在拉断前承受的最大载荷, N; S_0 为试样原始的横截面积, mm^2 。

对于大多数机械零件,工作时不允许产生塑性变形,所以屈服强度是零件强度设计的重要依据;对于因断裂而失效的零件(如脆性材料),则用抗拉强度作为其强度设计的依据。

2. 塑性

塑性是金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的能力。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ , 即

$$\delta = (L_1 - L_0)/L_0 \times 100\%$$

$$\psi = (S_0 - S_1)/S_0 \times 100\%$$

式中, S_0 为试样原始的横截面积, mm^2 ; S_1 为试样断裂处的横截面积, mm^2 ; L_0 为试样原来的标距长度, mm; L_1 为试样拉断后的标距长度, mm。

3. 硬度

硬度是金属材料抵抗硬物侵入其表面的能力。金属的硬度是在硬度计上测定的。生产中常用的硬度表示法有布氏硬度和洛氏硬度两种。

1) 布氏硬度(HB)

用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定载荷 F 的静压力作用下,压入试样表面并保持一定时间,然后卸除载荷,在试样上留下直径为 d 的压痕,计算压痕单位面积上所承受的载荷大小即为布氏硬度。试验时布氏硬度值可按压痕直径 d 直接查表得出。

布氏硬度法因压痕面积较大、其硬度值比较稳定,故测试数据重复性好,准确度较高。其缺点是测量费时,且因压痕较大,不适于成品检验。

2) 洛氏硬度(HR)

洛氏硬度的测试原理是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体(或 $\phi 1.588 \text{ mm}$ 淬火钢球)为压头,在规定的载荷下,垂直压入被测金属表面,卸载后依据压入深度,由刻度盘的指针直接显示出 HR 值。

洛氏硬度测试简单、迅速,压痕小,可用于成品检验。它的缺点是测得的硬度值重复性较差,为此,必须在不同部位测量数次。

硬度测定设备简单,测试迅速,不损坏被测零件,同时硬度和强度有一定的换算关系,故在零件图的技术条件中,通常标注出硬度要求。

4. 冲击韧度

金属材料断裂前吸收的变形能量称作韧性,韧性的常用指标为冲击韧度。

1.2.2 金属材料的物理、化学及工艺性能

(1) 物理性能 金属材料的物理性能主要有密度、熔点、热膨胀性、导热性和磁性等。由于机器零件的用途不同,对其物理性能的要求也有所不同。

(2) 化学性能 金属材料的化学性能主要是指在常温或高温时,抵抗各种介质侵蚀的能力,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

(3) 工艺性能 工艺性能是金属材料物理、化学性能和力学性能在加工过程中的综合反映,是指是否易于进行冷、热加工的性能。按工艺方法的不同,可分为铸造性、锻造性、焊接性和切削加工性等。

1.3 常用金属材料及其牌号

工程上所用的金属材料以合金为主,很少使用纯金属。合金是以一种金属为基础,加入其他金属或非金属,经过熔炼或烧结制成的具有金属特性的材料。最常用的合金是以铁为基础的铁碳合金,如碳素钢、合金钢、灰铸铁等;还有以铜或铝为基础的黄铜、青铜、硅铝明等有色金属材料。

1.3.1 工业用钢

工业用钢的种类很多,按化学成分可分为碳钢和合金钢。

1. 碳钢

碳钢具有良好的力学性能和工艺性能,且价格低廉,一般能满足使用要求,应用非常广泛。碳钢的分类方法很多,按含碳量(质量分数)可分为:低碳钢,含碳量小于0.25%;中碳钢,含碳量为0.25%~0.6%;高碳钢,含碳量大于0.6%。

碳钢中的杂质对钢的性能影响很大,特别是硫(S)、磷(P)。按钢中杂质的含量,碳钢又可分为:普通碳素结构钢,P的含量小于0.045%,S的含量小于0.050%;优质碳素结构钢,P的含量小于0.035%,S的含量小于0.035%;高级优质碳素结构钢,P的含量小于0.030%,S的含量小于0.030%。

按用途分,碳钢可分为碳素结构钢和碳素工具钢。碳素结构钢主要用来制造各类工程结构件和机器零件;碳素工具钢都是优质钢,主要用来制造工具、刀具、量具和模具等。

1) 碳素结构钢

(1) 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢属于低碳钢和含碳较少的中碳钢。这类钢尽管硫、磷等有害杂质的含

量较高,但性能仍能满足一般工程结构、建筑结构及一些机件的使用要求,且价格低廉,因此在国民经济各个部门得到广泛应用。

普通碳素结构钢的牌号以代表屈服点“屈”字的汉语拼音首位字母 Q 和后面三位数字来表示,如 Q215、Q235 等,每个牌号中的数字均表示该钢种在厚度小于 16 mm 时的最低屈服点(MPa)。

Q235 是用途最广的普通碳素结构钢,属于低碳钢,通常热轧成钢板、型钢、钢管、钢筋等。常用来制造建筑构件,不重要的轴类、螺钉、螺母,冲压件,锻件,焊接件等。

(2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的硫、磷含量较低,主要用来制造较为重要的机件。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,这两位数字即是钢中平均含碳量的万分数。例如,20 钢表示平均含碳量为 0.20% 的优质碳素结构钢。

08、10、15、20、25 等牌号属于低碳钢,其塑性好,易于拉拔、冲压、挤压、锻造和焊接。其中 20 钢用途最广,常用来制造螺钉、螺母、垫圈、小轴以及冲压件、焊接件,有时也用于制造渗碳件。

30、35、40、45、50、55 等牌号属于中碳钢,其强度和硬度有所提高,淬火后的硬度可显著增加。其中,以 45 钢最为典型,它不仅强度、硬度较高,且兼有较好的塑性和韧性,即综合性能优良。45 钢在机械结构中用途最广,常用来制造轴、丝杠、齿轮、连杆、套筒、键、重要螺钉和螺母等。

60、65、70、75 等牌号属于高碳钢。它们经过淬火、回火后,不仅强度、硬度提高,且弹性优良,常用来制造小弹簧、发条、钢丝绳、轧辊等。

2) 碳素工具钢

碳素工具钢属优质钢。牌号以“T”起首,其后面的一位或两位数字表示钢中平均含碳量的千分数。例如,T8 表示平均含碳量为 0.8% 的碳素工具钢。对于硫、磷含量更低的高级优质碳素工具钢,则在数字后面加“A”表示,如 T8A。淬火后,碳素工具钢的强度、硬度较高。为了便于加工,常以退火状态供应,使用时再进行热处理。

碳素工具钢随着含碳量的增加,硬度和耐磨性增加,而塑性、韧性逐渐降低。所以 T7、T8 钢常用来制造要求韧性较高、硬度中等的零件,如冲头、錾子等;T10 钢用来制造韧性中等、硬度较高的零件,如钢锯条、丝锥等;T12、T13 用来制造硬度高、耐磨性好、韧性较低的零件,如量具、锉刀、刮刀等。

2. 合金钢

合金钢是为改善钢的某些性能,特意加入一种或几种合金元素所炼成的钢。合金钢都是优质钢,按用途可分为以下几种。

1) 合金结构钢

合金结构钢比碳钢具有更好的力学性能,特别是热处理性能优良,因此便于制造尺寸较大、形状复杂或要求淬火变形小的零件。

合金结构钢的牌号通常是以“数字+元素符号+数字”的方法来表示。牌号中起首的两位数字表示钢的平均含碳量的万分数;元素符号及其后的数字表示所含合金元素及其平均含量的百分数;若合金元素含量小于 1.5%,则不标其含量;高级优质钢在牌号尾部增加符

号“A”。如 16Mn、20Cr、40Mn2、30CrMnSi、38CrMoAlA 等。

2) 合金工具钢

合金工具钢主要用来制造刀具、量具和模具。其牌号与合金结构钢相似,不同的是以一位数字表示平均含碳量的千分数,当含碳量超过 1%时,则不标出。如 9SiCr 的平均含碳量为 0.9%。常用的合金工具钢有用于制造刀具的 W18Cr4V、9SiCr、CrWMn 等;用于制造模具的 Cr12、5CrNiMo、3Cr2W8 等。

3) 特殊性能钢

特殊性能钢包括不锈钢、耐热钢、导磁钢、耐磨钢等。其中不锈钢在食品、化工、石油、医药工业中得到了广泛的应用。常用不锈钢的牌号有 Cr13 系列、1Cr18Ni9Ti 等。

1.3.2 铸铁

铸铁是含碳量在 2.11%~6.69%的铁碳合金。工业常用的铸铁其一般含碳量在 2.5%~4.0%之间。此外,铸铁中 Si、Mn、S、P 等杂质也比钢多。铸铁中碳一般以两种形态存在,一种是化合状态——渗碳体(Fe_3C);另一种是自由游离状态——石墨(C)。按铸铁中碳的存在形式不同,铸铁可分为:白口铸铁(碳以化合状态存在为主);灰口铸铁(碳以游离状态存在为主)。

按铸铁中石墨的分布形态,灰口铸铁又可分为灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁等。

1. 灰铸铁

灰铸铁中的碳主要以片状石墨形式存在,断口呈暗灰色,它是机械制造中应用最多的一种铸铁。

灰铸铁的牌号由“HT”(“灰”、“铁”两字的汉语拼音字首)和一组数字(表示最低抗拉强度,单位为 MPa)组成,如:HT100、HT150 等。

2. 可锻铸铁

可锻铸铁又称玛铁。由于其石墨呈团絮状,抗拉强度得到显著提高,特别是这种铸铁有着相当高的塑性和韧性,因此称为可锻铸铁,其实它并不能实际用于锻造。

可锻铸铁的牌号用“KT”表示,并在其后加注两组数字,分别表示最低抗拉强度和最低延伸率,例如:KT300-06 表示最低抗拉强度为 300 MPa,最低延伸率为 6%的可锻铸铁。

3. 球墨铸铁

球墨铸铁中的石墨呈球状,由于球状石墨对金属基体的割裂作用进一步减轻,其基体强度利用率可达 70%~90%,而灰铸铁仅为 30%~50%。因而球墨铸铁强度得以大大提高,并具有一定的塑性和韧性,目前已成功地取代了一部分可锻铸铁件,并实现了“以铁代钢”,常用来制造受力复杂、力学性能要求高的零件,如曲轴、凸轮轴等。

球墨铸铁的牌号表示方法与可锻铸铁相似。如 QT600-02,“QT”表示球墨铸铁,后面第一组数字表示最低抗拉强度(MPa),第二组数字表示最低伸长率(%)。

1.3.3 非铁金属

工业上把除钢铁以外的金属及其合金统称为非铁金属。

1. 铜及铜合金

铜及铜合金是人类应用最早的一种金属。它具有优良的导电性、导热性和抗大气腐蚀能力,有一定的机械性能和良好的加工工艺性能。

1) 纯铜

纯铜因呈紫红色又称为紫铜。我国工业纯铜根据所含杂质多少分为四级,用 T1, T2, T3, T4 表示,数字越大纯度越低。

2) 黄铜

黄铜是以锌为主要合金元素的铜合金。按照化学成分,黄铜可分为普通黄铜和特殊黄铜两类。黄铜的牌号用字母“H”和一组数字表示,数字的大小表示平均含铜量的百分值,如 H62 表示含铜量为 62% 左右的普通黄铜。如果是铸造黄铜,则在牌号前加上字母“Z”。

在普通黄铜中加入铝、铁、硅、锰、铅、锡等合金元素,即可制成性能得到进一步改善的特殊黄铜。特殊黄铜依加入元素的名称命名,其编号方法是“H+主加元素符号+铜的百分含量+主加合金元素百分含量”。如 HSn62-1 表示平均含铜量为 62%、含锡量为 1% 的锡黄铜。工业上常用的特殊黄铜有铝黄铜、锡黄铜和硅黄铜等。

黄铜不仅有良好的机械性能、耐腐蚀性能和工艺性能,而且价格也较纯铜便宜,因此广泛用于制造机械零件、电器元件和生活用品。

3) 青铜

青铜原指铜锡合金,但在工业上习惯称含铝、硅、铅、铍、锰等的铜合金为青铜,所以青铜实际上包括锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、铅青铜等。

2. 铝及铝合金

铝及铝合金是工业生产中用量最大的非铁金属材料,由于它在物理、机械和工艺等方面的优异性能,使得铝,特别是铝合金,广泛用作工程结构材料 and 功能材料。

1) 纯铝

纯铝比重小,导电、导热性好,耐腐蚀性强,在电气、航空和机械工业中,不仅用作功能材料,而且也是一种应用广泛的工程结构材料。

纯铝按其纯度分为高纯铝和工业纯铝两种。高纯铝的牌号为 L01~L04 四种,编号越大纯度越高。工业纯铝分为 L1~L5 五种,编号越大纯度越低。

2) 铝合金

铝中加入合金元素后就形成了铝合金。铝合金具有较高的强度和良好的加工性能。根据成分和加工特点,铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金。

(1) 变形铝合金

变形铝合金包括防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金、锻铝合金几种。除防锈铝合金外,其他三种都属于可以热处理强化的合金。常用来制造飞机大梁、桁架、起落架及发动机风扇

叶片等高强度构件。

(2) 铸造铝合金

铸造铝合金是制造铝合金铸件的材料,按主要合金元素的不同,铸造铝合金分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金、铝锌合金,其中使用最广泛的是铝硅合金,铸造铝合金主要用于制造形状复杂的零件,如仪表零件、各类壳体等。

1.4 钢铁材料的常用鉴别方法

钢铁材料品种繁多、性能各异,因此对钢铁材料的鉴别非常必要。常用的鉴别方法有火花鉴别法、色标鉴别法等。

1.4.1 火花鉴别法

根据钢铁材料在磨削过程中所出现的火花爆裂形状、流线、色泽、发火点等特点区别钢铁材料化学成分差异的方法,称为火花鉴别法。

火花鉴别的要点是:详细观察火花的火束粗细、长短、花次层叠程度和它的色泽变化情况。火花束是指被测材料在砂轮上磨削时产生的全部火花,常由根部、中部、尾部组成,见图 1.2。同时还要注意观察组成火束的流线形态,以及火花束根部、中部及尾部的特殊情况 and 它的运动规律,同时还要观察火花爆裂形态、花粉大小和多少。

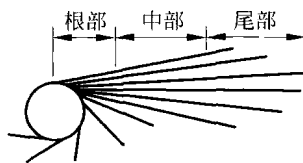


图 1.2 火花束

1. 火花组成

(1) 流线

从砂轮上直接射出的好像直线的火花称为流线。每条流线都由节点、爆花和尾花组成,见图 1.3。

(2) 节点

节点就是流线上火花爆裂的原点,呈明亮点。

(3) 爆花

爆花就是节点处的火花,由许多小流线(芒线)及点状火花(花粉)组成。通常,爆花可分为一次、二次、三次花等,见图 1.4。



图 1.3 火花组成

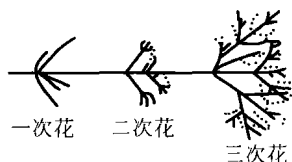


图 1.4 爆花

(4) 尾花

尾花就是流线尾部的火花。钢的化学成分不同,尾花的形状也不同。通常,尾花可分为狐尾尾花、枪尖尾花、菊花状尾花、羽状尾花等。

2. 常用钢铁材料的火花特征

碳是钢铁材料火花形成的基本元素,也是火花鉴别法测定的主要成分。由于含碳量的不同,其火花形状不同。

1) 碳素钢火花的特征

(1) 通常低碳钢火花束较长,流线少,芒线稍粗,多为一次花,发光一般,带暗红色,无花粉。图 1.5 为 20 钢的火花特征。

(2) 中碳钢火花束稍短,流线较细长而多,爆花分叉较多,开始出现二次、三次花,花粉较多,发光较强,颜色橙黄。图 1.6 为 45 钢的火花特征。

(3) 高碳钢火花束较短而粗,流线多而细,碎花、花粉多,分叉多且多为三次花,发光较亮。

2) 铸铁的火花特征

铸铁的火花束很粗,流线较多,一般为二次花,花粉多,爆花多,尾部渐粗,下垂成弧形,颜色多为橙红带橘红。火花试验时,手感较软。图 1.7 为 HT200 的火花特征。

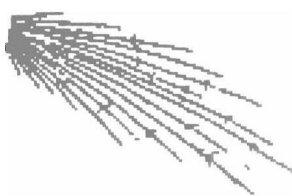


图 1.5 20 钢的火花特征

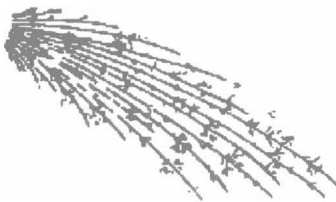


图 1.6 45 钢的火花特征



图 1.7 HT200 的火花特征

3) 合金钢的火花特征

合金钢的火花特征与其含有的合金元素有关。一般情况下,镍、硅、钼、钨等元素抑制火花爆裂,而锰、钒、铬等元素却可助长火花爆裂。所以对合金钢的鉴别较难掌握。一般铬钢的火花束白亮,流线稍粗而长,爆裂多为一次花、花型较大,呈大星形,分叉多而细,附有碎花粉,爆裂的花心较明亮。镍铬不锈钢的火花束细,发光较暗,爆裂为一次花,五、六根分叉,呈星形,尖端微有爆裂。高速钢火花束细长,流线数量少,无火花爆裂,色泽呈暗红色,根部和中部为断续流线,尾部呈弧状。

1.4.2 色标鉴别法

生产中为了表明金属材料的牌号、规格等,常做一定的标记,如涂色、打印、挂牌等。金属材料的涂色标志是表示钢号、钢种的,涂在材料一端的端面或端部。具体的涂色方法在有关标准中做了详细规定,如:碳素结构钢 Q235 钢为红色;优质碳素结构钢 20 钢为棕色加绿色,45 钢为白色加棕色;合金结构钢 20CrMnTi 钢为黄色加黑色,40CrMo 钢为绿色加紫色;铬轴承钢 GCr15 钢为蓝色;高速钢 W18Cr4V 钢为棕色加蓝色;不锈钢 1Cr18Ni9Ti 钢为绿

色加蓝色;热作模具钢 5CrMnMo 钢为紫色加白色。

为了准确地鉴别材料,在以上几种现场鉴别的基础上,一般还可采用化学成分分析、金相检验以及硬度试验等手段进行鉴别。

1.5 非金属材料及其在工程上的应用

金属材料具有强度高,热稳定性好,导电性、导热性好等优点,但也存在许多缺点,如难以满足在密度小、耐蚀、电绝缘等场合的使用要求。目前在机械工程中常采用非金属材料,如工程塑料、合成橡胶、工业陶瓷、复合材料等,克服单一材料的某些弱点,充分发挥材料的综合性能。

1. 塑料

塑料是以高分子合成树脂为主要成分,在一定温度和压力下,制成一定形状,且在一定条件下保持不变的材料。塑料的特性是:重量轻、比强度高(比强度指按单位重量计算的强度),有良好的耐腐蚀性、电绝缘性,良好的减振减摩性和加工成形性;但强度、硬度较低,耐热性差,易产生老化和蠕变等。

1) 塑料的组成

常用的塑料一般由合成树脂和添加剂构成。合成树脂是其主要成分,树脂的性质决定了塑料的基本性能;加入添加剂的目的是改善塑料的成形工艺性能,提高使用性能、力学性能及降低成本。常加入的添加剂有:填充剂、增塑剂、着色剂、润滑剂、稳定剂、硬化剂、发泡剂等;有时为了改善特殊性能,还加入阻燃剂、防静电剂、防霉剂等。

2) 塑料的分类

塑料的种类繁多,按其在受热加工后所表现出的性能可分为以下两种。

(1) 热塑性塑料 这类塑料是指受热时软化,可以加工成一定的形状,能多次重复加热塑制,其性能不发生显著变化的高分子材料。热塑性塑料的化学构造为线形高分子。

(2) 热固性塑料 这类塑料是指在加工成形后,加热不会再软化,或在溶剂中不再溶解的高分子材料。热固性树脂的初期构造是分子量不大的热塑性树脂,具有链状构造,在加热发生流动的同时,分子与分子间发生交联,形成三维网状立体构造,变成不溶、不熔的高聚物。这种高聚物不再具有可塑性。

塑料按其应用可分为通用塑料和工程塑料。通用塑料一般是指使用广泛、产量大、用途多、价格低廉的高分子材料,如聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛树脂及氨基树脂等。工程塑料是指具有较高的强度、刚性和韧性,用于制造结构件的塑料,如聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、聚砜、聚苯醚等。

3) 常用塑料简介

(1) 聚乙烯(PE) 聚乙烯塑料是最常见的通用热塑性塑料之一,它是一种分子结构极为简单的高聚物。聚乙烯塑料为白色或浅白色蜡状半透明固体,薄膜状聚乙烯几乎是透明的,有柔顺性、热塑性和弹性,透气性很强、透水性差,适合作防湿用的包装材料。由于聚乙烯在低温下仍保持柔软性,所以耐冲击性好,不易破坏,耐化学腐蚀性优良,而且适用于用各

种成形方法制造形状复杂的制品,因此用途十分广泛,可用来制造各种容器、餐具、厨房用品、玩具、日用杂货制品等。

(2) 聚酰胺(PA) 属于热塑性塑料,俗称尼龙或锦纶,它具有较高的强度、韧性和耐磨性,并同时具有好的吸振性和耐蚀性。PA 常用于制造减摩、耐磨性工件,绝缘、耐蚀件,化工容器以及仪表外壳表盘等。

(3) ABS 塑料 ABS 塑料中的 A 代表丙烯腈, B 代表丁二烯, S 代表苯乙烯,它是在聚苯乙烯改性的基础上发展起来的热塑性塑料。ABS 塑料具有良好的综合性能,强度、硬度高,耐磨性和加工工艺性能好,并具有良好的绝缘性和尺寸稳定性,广泛用于设备容器管道、外壳、叶轮、仪表等。

(4) 聚碳酸酯(PC) 聚碳酸酯作塑料的历史不长,但由于具有优良的机械性能,耐热、耐寒,电性能好,并具有自熄性、透明等特点,已逐步成为一种综合性能优良的热塑性塑料。聚碳酸酯用途广泛,可用作各种机械结构材料、电器材料、包装材料、各种开关、开关罩、电视机面板、电动工具外壳等。

(5) 聚四氟乙烯(F-4) 聚四氟乙烯化学稳定性极高,几乎不受任何化学药物的腐蚀,优于陶瓷、不锈钢以及金、铂等。其使用温度范围为 $-180\sim 260^{\circ}\text{C}$,是热塑性塑料中使用温度范围最宽的塑料。此外,还具有极好的电绝缘性。F-4 适于制造耐蚀件、耐磨件、密封件以及高温绝缘件等。

(6) 酚醛塑料(PF) 它是由酚类和醛类经缩聚而成,又名电木,是热固性塑料。它具有优良的耐热、绝缘、化学稳定性及尺寸稳定性,缺点是较脆。用酚醛塑料粉模压成形后可制成电器零件,如开关、插座等。用布片、纸浸渍酚醛塑料,制成层压塑料,可用作轴承、齿轮垫圈及电工绝缘体等。

2. 陶瓷材料

陶瓷是一种无机非金属材料,分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。前者是以黏土、长石和石英等天然原料,经过粉碎、成形和烧结而成,主要用于日用、建筑和卫生用品,以及工业上的低压电器、高压电器、耐酸器皿、过滤器皿等。后者是以人工化合物为原料(如氧化物、氮化物、碳化物、硅化物、硼化物及氟化物等)制成的陶瓷,其性能特点是:硬度和抗压强度高,耐磨损;但塑性和韧性差,不能经受冲击载荷,抗急冷性能较差,易碎裂。此外,陶瓷材料还具有耐高温、抗氧化、耐腐蚀等优良性能;大多数陶瓷是良好的绝缘体。

陶瓷的制造工艺,分为原料处理、成形和烧成三个阶段。成形的方法有干压、注浆、等静压、挤制、热压注等。烧成在煤窑、油窑、电炉、煤气炉等高温窑炉中进行。此外,还有将粉料同时加热加压制成瓷的热压法和高温等静压法。陶瓷在烧成后即可使用,尺寸要求精确的陶瓷,需要研磨加工。

3. 复合材料

复合材料是由两种或多种物理和化学性质不同的物质人工制造的一种多相固体材料。

1) 纤维增强复合材料

(1) 玻璃纤维增强复合材料 玻璃纤维增强复合材料俗称玻璃钢。它是以树脂为黏结材料,以玻璃纤维或其制品为增强材料制成的。常用的树脂有环氧树脂、酚醛树脂、有机硅

树脂及聚酯树脂等热固性树脂和聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺等热塑性树脂。它们的特点是密度小、强度高、介电性和耐蚀性好,常用来制造汽车车身、船体、直升机旋翼、电器仪表、石油化工中的耐蚀压力容器等。

(2) 碳纤维增强复合材料 碳纤维增强复合材料是以碳纤维或其织物(布、带等)为增强材料,以树脂为基体材料结合而成。常用的基体材料有环氧树脂、酚醛树脂及聚四氟乙烯等。这类复合材料,密度比铝小,强度比钢高,弹性模量比铝合金和钢大,疲劳强度和冲击韧性高,化学稳定性高,摩擦系数小,导热性好。因此,可用作宇宙飞行器的外层材料,人造卫星和火箭的机架、壳体等,也可制造机器中的齿轮、轴承、活塞等零件及化工容器、管道等。

2) 层合复合材料

层合复合材料是由两层或两层以上不同性质的材料结合而成,以达到增强的目的。常见的有三层复合材料和夹层复合材料等。例如,夹层复合材料由两层薄而强的面板与中间所夹的一层轻而柔的芯料构成,面板一般用强度高、弹性模量大的材料如金属板、塑料板、玻璃板等,而芯料结构有泡沫塑料和蜂窝格子两大类。

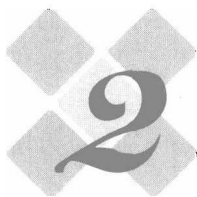
3) 颗粒增强材料

常用的颗粒增强材料主要是一些具有高强度、高弹性模量、耐热、耐磨的陶瓷等非金属颗粒,如碳化硅、氧化铝、氮化硅、碳化钛、碳化硼、石墨、细金刚石等。颗粒增强材料以很细的粉末(一般在 $10\ \mu\text{m}$ 以下)加入到金属基体或陶瓷基体中起提高强度、韧性、耐磨性和耐热性等作用。为了增加与基体的结合效果,常要对这些颗粒材料进行预处理。

颗粒增强材料的特点是选材方便,可根据复合材料不同的要求选用相应的增强颗粒,并且易于批量生产,成本较低。

复习思考题

1. 金属材料常用的力学性能指标有哪些? 各代表什么意义?
2. 布氏硬度和洛氏硬度各有什么优缺点? 下列情况应采用哪种硬度法来检查其硬度?
库存钢材 硬质合金刀头 锻件 台虎钳钳口
3. 根据用途,下列钢属于哪类钢? 其中的数字和符号各代表什么意义?
Q235-A 45 T10A 40Cr 60Si2Mn W18Cr4V 5CrMnMo 1Cr18Ni9Ti
ZG200-400
4. 铸铁如何分类? 工业上广泛应用的是哪类铸铁?
5. 如何鉴别 20 钢、45 钢、T12 钢和 HT200 铸铁?
6. 塑料的组成有哪些? 塑料怎么分类?
7. 陶瓷制造分哪三个基本工艺过程?



钢的热处理

2.1 概 述

钢的热处理是将钢在固态下加热并保温一定时间,然后以特定的冷却速度冷却,用以改变其内部组织结构,从而获得所需组织和性能的工艺方法。热处理分为普通热处理与表面热处理两大类。普通热处理工艺主要有正火、退火、淬火及回火。表面热处理包括表面淬火和化学热处理。表面淬火工艺主要有火焰加热表面淬火和感应加热表面淬火;化学热处理工艺主要有渗碳、渗氮及氰化等。

热处理是机械制造过程中不可缺少的工艺方法,同压力加工、铸造、焊接、切削加工等工艺方法不同,热处理不改变零件的化学成分(除化学热处理外)及几何形状,其主要目的是改善和提高材料及零件的力学及使用性能,如强度、硬度、韧性、耐磨性及可切削加工性等。

热处理工艺有三大要素:①加热的最高温度;②保温时间;③冷却速度。同种材料,由于采用不同的加热温度、保温时间、冷却速度,甚至不同的加热、冷却介质,工件所获得的组织和性能千差万别。对于不同材料、不同结构的零件,要根据具体的加工工艺性和力学性能要求,制定具体的热处理工艺,并可穿插于其他各种工艺之间进行。

2.2 钢的热处理工艺

热处理分为预先热处理和最终热处理两类。预先热处理的目的是清除铸造、锻造加工过程中所造成的缺陷和内应力,改善切削加工性能,为最终热处理做组织准备,如退火、正火。最终热处理是在使用条件下使钢满足性能要求的热处理,目的是改善零件的力学性能,延长零件的使用寿命,如淬火、回火、表面淬火、化学热处理等。图 2.1 所示为热处理工艺示意图。

1. 退火

退火是将钢加热到适当温度,保持一段时间后随炉缓慢冷却的热处理工艺。退火后的材料硬度较低,一般用布氏硬度试验法测定。退火目的是细化晶粒,改善材料的力学性能或为淬火做好组织准备;降低材料的硬度,以利于切削加工;消除铸件、锻件、焊件的内应力。一般亚共析钢加热到 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 进行完全退火,过共析钢加热到 A_{c1} 以上 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 进行球化退火。如图 2.2 所示。

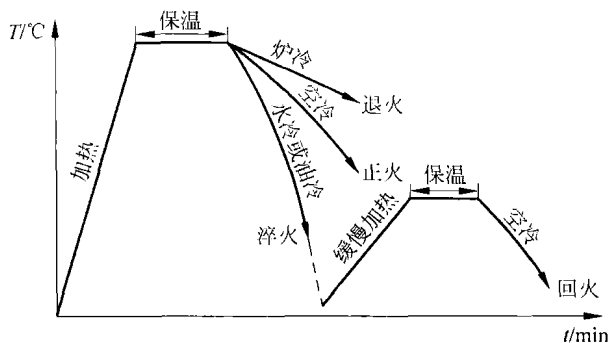


图 2.1 热处理工艺示意图

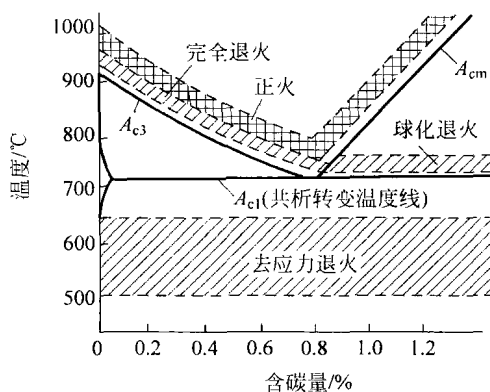


图 2.2 铁碳合金相图

2. 正火

正火是将钢加热到适当温度,保持一段时间后在静止或轻微流动的空气中冷却的热处理工艺。正火是退火的一个特例,因此其目的与退火基本相同,但正火的冷却速度比退火快,因此,正火所获得的组织比退火细,正火件的强度、硬度比退火件高。但正火生产周期短,操作简便,在实际生产过程中,为提高生产效率及降低产品成本,应尽量采用正火工艺取代退火,一般低、中碳结构钢以正火作为预先热处理。亚共析钢和共析钢的正火加热温度为 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$,过共析钢的正火加热温度为 A_{cm} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

3. 淬火

淬火是将钢加热、保温,然后快速冷却的热处理方法。淬火的目的是获得高的硬度、强度、耐磨性;获得高强度、高韧性兼备的综合力学性能;改善某些特殊钢的物理性能、化学性能及力学性能。不同钢材及不同表面质量要求的淬火可以使用不同的加热介质,如空气、可控气氛、熔盐、真空等。其冷却介质可以是水、油、聚合物液体、熔盐及强烈流动的气体等。亚共析钢淬火加热温度为 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$,共析钢和过共析钢的淬火加热温度为 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

淬火后的工件硬度和耐磨性提高,但脆性大、内应力大,容易产生变形和开裂;且淬火组

织不稳定,在工作中会缓慢发生分解,导致精密零件的尺寸变化。为改善淬火后工件的性能,消除内应力,防止零件变形开裂,必须进行回火。

4. 回火

将淬火后的工件重新加热到 A_{c1} 以下某一温度,保温一定时间,然后冷却到室温的热处理工艺称为回火。回火的目的是为了消除或部分消除淬火应力,降低脆性,稳定组织,调整硬度,获得所需要的力学性能。在实际生产中,往往是根据工件所要求的硬度确定回火温度,有低温回火、中温回火和高温回火。一般来说,回火温度越高,硬度、强度越低,而塑性、韧性越高。淬火后进行高温回火称为调质处理。

5. 表面淬火

表面淬火是将工件表面加热到淬火温度,然后迅速冷却,使在表面一定深层范围内达到淬火目的的热处理工艺。表面淬火后,工件表面层获得高硬度和高耐磨性,而心部仍为原来的组织状态,具有足够的塑性和韧性。表面淬火适用于承受冲击载荷并处于强烈摩擦条件下工作的工件,如齿轮、凸轮、传动轴等。

6. 化学热处理

化学热处理是将工件放在某些化学介质中,加热到一定温度并保温,使一种或几种元素渗入工件表面,以改变表层的化学成分和组织的热处理操作。它可以更大程度地提高工件表层的硬度、耐磨性、耐热性和耐蚀性,而心部仍保持原有性能。化学热处理方法是按渗入元素种类命名的,常见的有渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗铝、渗铬、渗硼及氰化等。

2.3 热处理新技术

1. 真空热处理

在真空中进行的热处理称为真空热处理,包括真空淬火、真空退火、真空回火和真空化学热处理。

工件在真空中加热、升温速度很慢,截面温度梯度小,所以热处理时变形小;真空中氧的分压很低,金属的氧化可受到有效的抑制;在高真空条件下,工件表面的氧化物发生分解,可得到光亮的表面,同时可提高耐磨性、疲劳强度;另外,溶解在金属中的气体,在真空中长期加热时,会不断逸出,可由真空泵排出炉外,具有脱气作用,有利于改善钢的韧性,提高工件的使用寿命;真空热处理还可以减少或省去清洗和磨削加工工序,改善劳动条件,实现自动控制。

2. 激光热处理

激光热处理是利用高功率密度的激光束扫描工件表面,将其迅速加热到钢的淬火温度,然后依靠工件本身的传热,实现快速冷却淬火。

激光淬火的硬化层较浅,通常为 $0.3\sim 0.5\text{ mm}$,但其表面硬度比常规淬火的表面硬度提高达 $15\%\sim 20\%$ 以上,能显著提高钢的耐磨性。另外由于激光能量密度大,激光淬火变形非常小,处理后的零件可直接装配。激光淬火对工件尺寸及表面平整度没有严格要求,可对形状复杂工件进行处理。热处理时,加热速度快,表面不需要保护,靠自激冷却,不需要冷却介质,因此工件表面清洁、无污染,操作简单便于实现自动化。

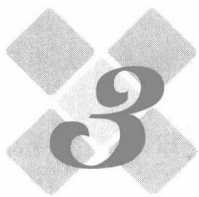
3. 可控气氛热处理

在炉气成分可以控制的炉内进行的热处理称为可控气氛热处理。炉气有渗碳性、还原性、中性气氛等几种。仅用于防止工件表面化学反应的可控气氛称为保护气氛。

可控气氛热处理能防止工件加热时的氧化和脱碳,提高工件表面质量和耐磨性、耐疲劳性等,实现光亮热处理;可进行渗碳、渗氮,碳氮共渗化学热处理,渗层效果好、质量高,劳动条件好,对于某些形状复杂而又要求高硬度的工件,可以减少加工工序;对于已经脱碳的工件可使表面复碳,提高零件性能;便于实现热处理过程的机械化、自动化。

复习思考题

1. 什么是热处理? 同其他机械制造工艺方法相比,热处理有何特点?
2. 什么是正火? 什么是退火? 正火与退火有何异同?
3. 什么是淬火? 淬火的目的是什么? 淬火后的工件为什么需要及时回火?
4. 什么是回火? 回火的目的是什么?
5. 什么是调质处理? 哪些零件需要进行调质处理?
6. 表面淬火与普通淬火有何区别?
7. 要获得表面硬度高、心部有足够韧性的低碳钢齿轮,应采用何种热处理方法? 为什么?
8. 热处理有哪些新技术?



铸 造

3.1 概 述

将液态的金属浇注到与零件形状尺寸相适应的铸型空腔中,待其冷却凝固后获得毛坯或零件的工艺方法称为铸造。

用于铸造的金属材料统称为铸造合金。常用的铸造合金有铸铁、铸钢及铸造有色金属,其中又以铸铁应用最为广泛(特别是灰口铸铁)。

铸造生产在机械工业中占有很重要的地位,是制造毛坯或零件的重要方法之一。在一般机器设备中,铸件占总重量的 40%~90%;在农业机械中占 40%~70%;在金属切削机床中占 70%~80%;在重型机械、矿山机械及水力发电设备中占 85%以上。在国民经济的其他部门中,也广泛采用各种铸件。与其他成形方法相比,铸造具有以下特点。

(1) 适应性强,工艺灵活性大 铸件的合金成分、尺寸、形状、重量和生产批量等几乎不受限制。

(2) 成形能力强 最适于生产复杂形状,特别是具有复杂内腔的毛坯或零件。

(3) 经济性好 铸造所用的原材料大部分来源广泛、价格低廉,还可以使用废料和废机件,因此铸件的成本低廉。

铸造的主要缺点是:铸造生产工序繁多,工艺过程较难控制,致使铸件的废品率较高;铸件的内部组织比较粗大,力学性能一般不如锻件;铸造的工作条件较差,工人劳动强度较大。随着科学技术的进步,铸造技术也获得了不断发展。铸件性能和质量正在进一步提高,劳动条件正逐步改善,现代铸造生产正朝着专业化、集约化和智能化的方向发展。

铸造生产大致可分为砂型铸造和特种铸造两大类。目前最常用和最基本的铸造方法是砂型铸造,本章重点介绍砂型铸造。

3.2 砂 型 铸 造

砂型铸造的生产工序包括配制型(芯)砂、制作模样和芯盒、造型、制芯、合箱、金属的熔化与浇注以及落砂、清理与检验等,如图 3.1 所示。

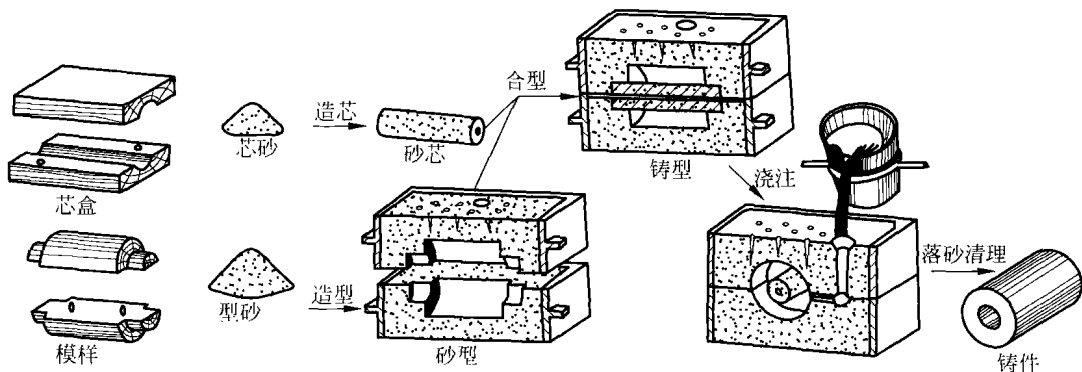


图 3.1 砂型铸造的工艺流程

3.2.1 型(芯)砂

砂型是由型砂组成的,型砂的质量直接影响着铸件的质量,型砂质量不好会使铸件产生气孔、砂眼、粘砂、夹砂等缺陷,这些缺陷造成的废品约占铸件总废品的 50% 以上。因此,必须合理地选用和配制型(芯)砂。

1. 型(芯)砂应具备的主要性能

(1) 强度 型砂抵抗外力破坏的能力称为强度。足够的强度可保证铸型在铸造过程中不破损、塌落和胀大。但强度太高会使铸型过硬,透气性、退让性和落砂性很差。

(2) 透气性 型砂孔隙透过气体的能力称为透气性。当高温金属液浇入铸型时,型内会产生大量气体(包括水分汽化为高温过热蒸汽和原有空气受热膨胀),这些气体必须通过铸型排出去。如果型砂透气性太低,气体留在型内,会使铸件形成呛火、气孔和浇不到等缺陷。但透气性太高会使砂型疏松,铸件易出现表面粗糙和机械粘砂的缺陷。

(3) 耐火性 指型砂经受高温热作用的能力。耐火性主要取决于砂中 SiO_2 的含量(熔点 1713°C), SiO_2 含量越多,型砂耐火性越高。型砂的耐火性好,铸件不易产生粘砂缺陷。

(4) 退让性 铸件凝固和冷却过程中产生收缩时,型砂能被压缩、退让的性能称为退让性。型砂退让性不足,会使铸件在收缩受到阻碍时,产生内应力、变形和裂纹等缺陷。对小铸件砂型,不要舂得过紧;对大砂型,可在型(芯)砂中加入锯末、焦炭粒等材料以增加退让性。

(5) 溃散性 指型砂浇注后易溃散的性能。溃散性好,型砂容易从铸件上清除,可以节省落砂和清理的劳动量。

除上述性能外,型砂还应具有流动性和可塑性等工艺性能。

2. 型(芯)砂的组成

为了满足型(芯)砂的性能要求,它一般由原砂、黏结剂、水和附加物按一定比例混制而成。

原砂一般采用天然砂。砂中若石英(SiO_2)含量高,杂质少,则耐火性好;若砂粒粗,粒度

均匀,则透气性好。

黏结剂可提高型(芯)砂的可塑性和强度。黏结剂主要有普通黏土、膨润土、水玻璃、矿物油、合脂和树脂等。其中,普通黏土及膨润土资源丰富,价格低廉,有一定黏结强度,一般多用来制作型砂。其他几种黏结剂价格较贵,主要用于生产性能要求较高的芯砂。

型砂中常加入的附加物有煤粉、木屑等。煤粉在高温熔融金属作用下燃烧形成气膜,隔离熔融金属与铸型型腔直接作用,使铸件表面光洁,防止铸件粘砂;加入木屑能改善型砂的透气性和退让性。

黏土中的水分对型(芯)砂的性能和铸件的质量影响很大。水分少,型(芯)砂干而脆,不利于造型起模;水分多,型(芯)砂强度低,易造成黏模,给造型操作带来困难。当黏土与水分质量比为 3 : 1 时,型砂可获得最大强度值。

3. 型(芯)砂的制备

型芯在浇注后将被高温金属液包围,故通常要求芯砂应具有比型砂更好的综合性能。一般来说,型砂与芯砂应选用不同的材料按不同的比例配制。

在铸造生产中,有时为了节省型砂,对与铸件接触的面砂进行专门配制,以使其具有较高的强度和耐火性;而对不与铸件接触,仅作填料用的背砂,一般用旧砂;但在大批生产时,为了提高生产效率和简化操作,往往不分面砂和背砂,只用一种单一砂。

目前在生产中一般都使用混砂机配砂。混砂过程是:将新砂、黏土、附加物和旧砂依次投入混砂机内,先干混数分钟,混拌均匀后,加一定量的水再湿混 10 min 左右。为了使水分渗透均匀,混完的砂通常要放 3~8 h。最后进行松砂处理,以打碎砂团,提高其透气性。

型(芯)砂的性能可用专门仪器检验,也可用手握法检验。

手握法检验的操作过程:用手攥一把型砂,感到潮湿但不沾手,柔软易变形,印在砂团上的手指痕迹清晰,砂团掰断时断面不粉碎,说明型砂的干湿适宜、性能合格。这种方法简单易行,但需凭个人经验,准确性差。

3.2.2 造型

用型砂及模样等工艺装备制造铸型的过程称为造型。这种铸型又称砂型,是由上砂型、下砂型、型腔(形成铸件形状的空腔)、砂芯、浇注系统和砂箱等部分组成的。铸型的组成及各部分名称见图 3.2。上、下砂型的接合面称为分型面。上、下砂型的定位可用泥记号(单件、小批生产)或定位销(成批、大量生产)。

造型方法可分为手工造型和机器造型两大类。

1. 手工造型

手工造型操作灵活、工艺装备简单,但生产效率低、劳动强度大,仅适用于单件小批生产。

手工造型的方法很多,按砂箱特征分有:两箱造型、三箱造型、脱箱造型、地坑造型等。按模

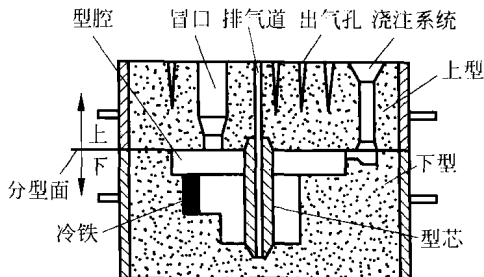


图 3.2 砂型结构

样特征分有：整模造型、分模造型、活块造型、挖砂造型、假箱造型和刮板造型等。可根据铸件的形状、大小和生产批量选择。

(1) 整模造型 整模造型过程如图 3.3 所示。整模造型的特点是：模样是整体结构，最大截面在模样一端且是平面；分型面多为平面；操作简单。整模造型适用于形状简单的铸件，如盘、盖类。

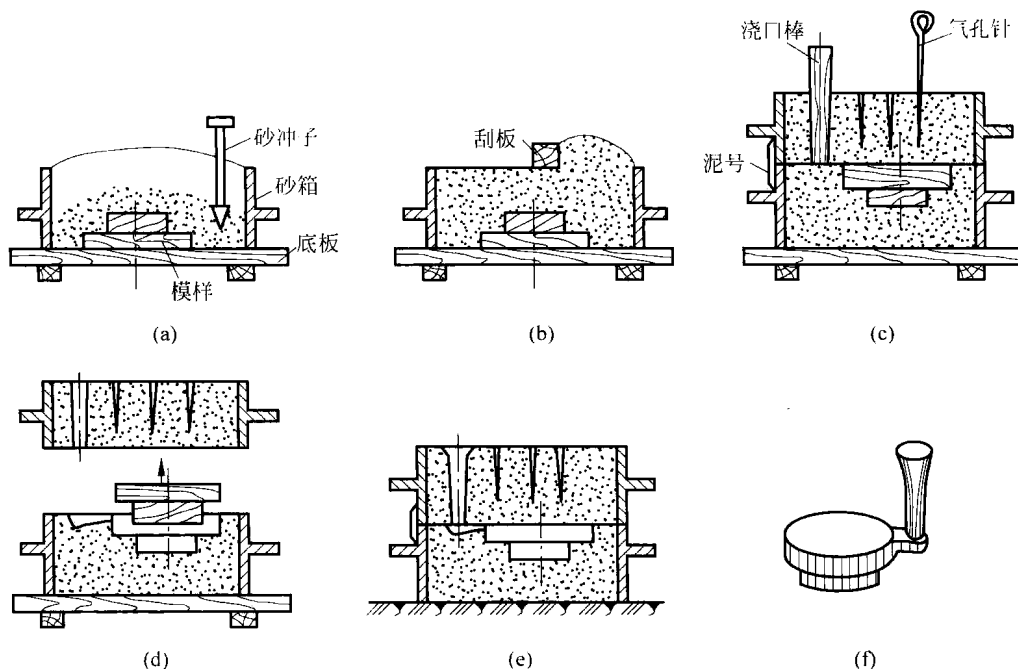


图 3.3 整模造型过程

(a) 造下型，填砂、舂砂；(b) 刮平，翻下型；(c) 造上型，扎气孔、做泥号；
(d) 敞箱、起模、开浇口；(e) 合型；(f) 落砂后带浇口的铸件

(2) 分模造型 分模造型的特点是：模样是分开的，模样的分开面（称分模面）必须是模样的最大截面，以利于起模，简便操作。分模造型过程与整模造型基本相似，不同的是造上型时增加放上半模样和取上半模样两个操作。套筒的分模造型过程如图 3.4 所示。分模造型适用于形状较复杂的铸件，如套筒、管子和阀体等。

(3) 活块造型 模样上可拆卸或能活动的部分叫活块。当模样上有妨碍起模的侧面伸出部分（如小凸台）时，常将该部分做成活块。起模时，先将模样主体取出（见图 3.5(b)）再将留在铸型内的活块单独取出（见图 3.5(c)），这种方法称为活块造型。对于图 3.5 所示的用钉子连接的活块造型，应注意先将活块周围的型砂塞紧，然后拔出钉子。

凸台厚度应小于该处模样的 $1/2$ ，否则活块难以取出。

活块造型的特点是：模样主体可以是整体的，也可以是分开的；对工人的操作技术水平要求较高，操作较复杂，生产率较低。活块造型适用于侧面有无法起模的凸台、肋条等结构的铸件。

(4) 挖砂造型 当铸件按结构特点需要用分模造型，但由于条件限制（如模样太薄，制模困难）仍做成整模时，为便于起模，下型分型面需挖成曲面或有高低变化的阶梯形状，这种

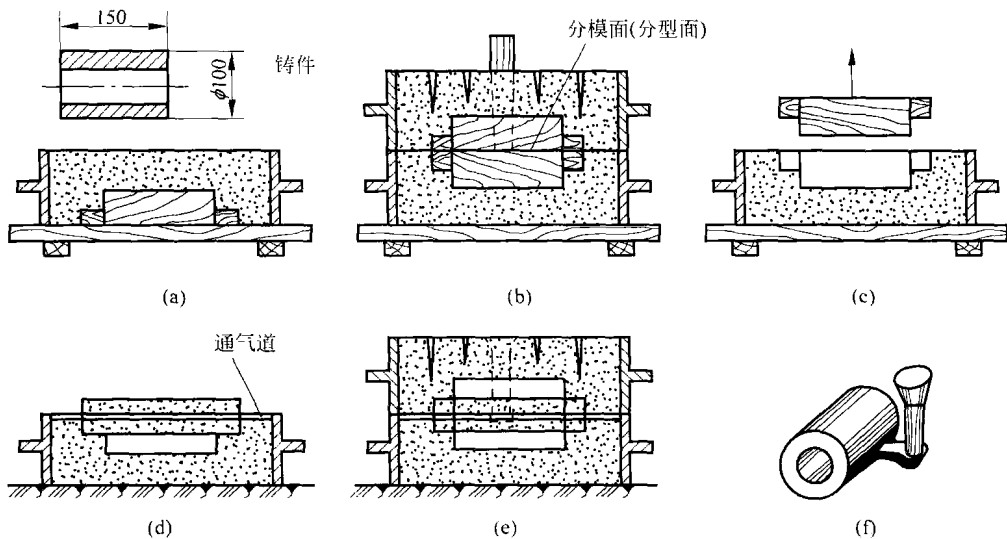


图 3.4 套筒的分模造型过程

(a) 造下型；(b) 造上型；(c) 敞箱，起模；(d) 开浇口，下芯；(e) 合型；(f) 带浇口的铸件

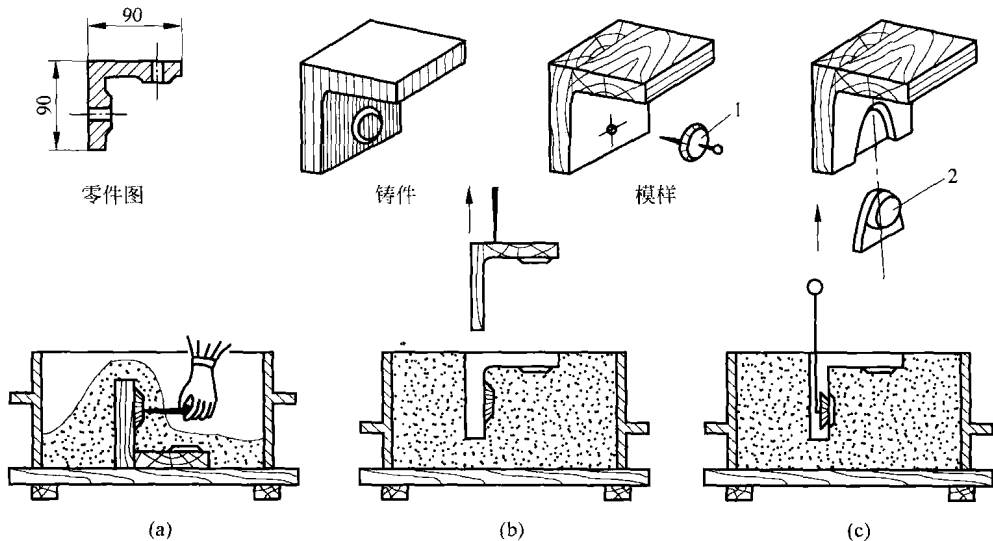


图 3.5 活块造型

(a) 造下型，拔出钉子；(b) 取出模样主体；(c) 取出活块

1—用钉子连接的活块；2—用燕尾棒连接的活块

方法叫挖砂造型。手轮的挖砂造型过程如图 3.6 所示。

挖修分型面时应注意：要挖到最大截面(如图 3.6 中 A—A 处)，分型面坡度尽量小并应修抹得平整光滑。

挖砂造型的特点：模样多为整体的；铸型的分型面是不平分型面；挖砂操作技术要求较高，生产率较低。挖砂操作适用于形状较复杂铸件的单件生产。

当挖砂造型的铸件生产数量增加时，为了避免每型挖砂，可采用假箱造型，如图 3.7(a)~(c)所示。

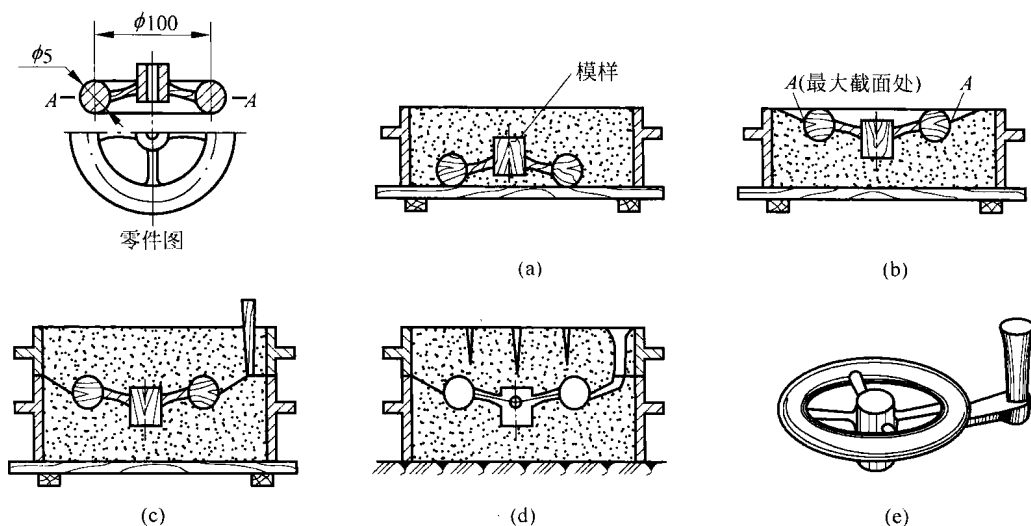


图 3.6 手轮的挖砂造型过程

(a) 造下型；(b) 翻下型, 挖修分型面；(c) 造上型, 敞箱、起模；(d) 合型；(e) 带浇口的铸件

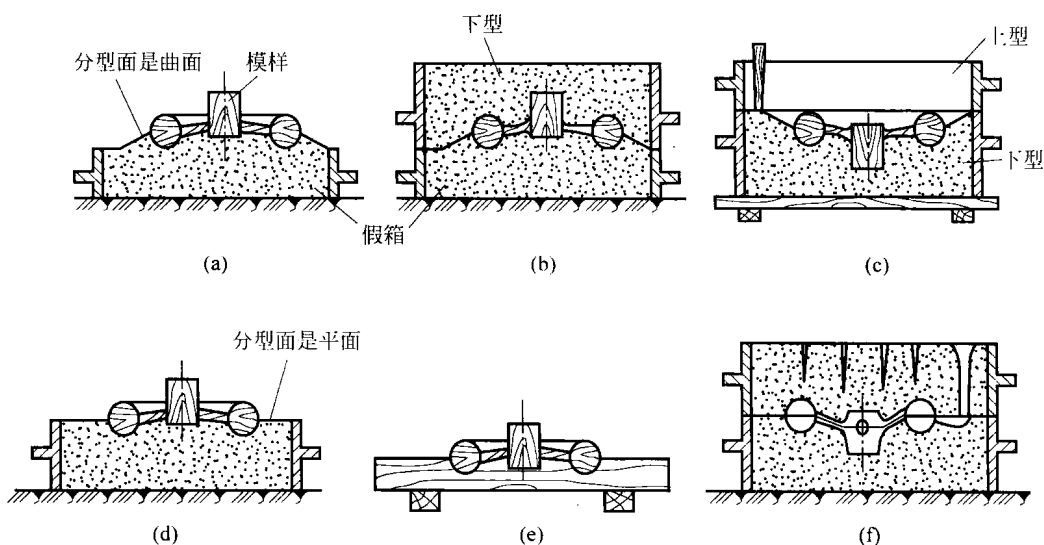


图 3.7 假箱和成形底板造型

(a) 模样放在假箱上；(b) 造下型；(c) 翻下型, 待造上型；(d) 假箱；(e) 成形底板；(f) 合型图

当生产数量更大(如成批)时,可用木料制成成形底板代替假箱,如图 3.7(d)~(f)所示。

(5) 三箱造型 用三个砂箱制造铸型的过程称为三箱造型。有些形状复杂的铸件,往往具有两端截面大而中间截面小的特点,用一个分型面取不出模样。因此,须从小截面处分开模样,铸型有两个分型面,用三个砂箱造型,这种方法称为三箱造型。如图 3.8 所示。

三箱造型的特点是中箱的上、下两面均为分型面,因此要求平整光滑,中箱的高度应与中箱内的模样高度相近,必须采用分模法。由于两个分型面处产生的飞边缺陷,使铸件高度

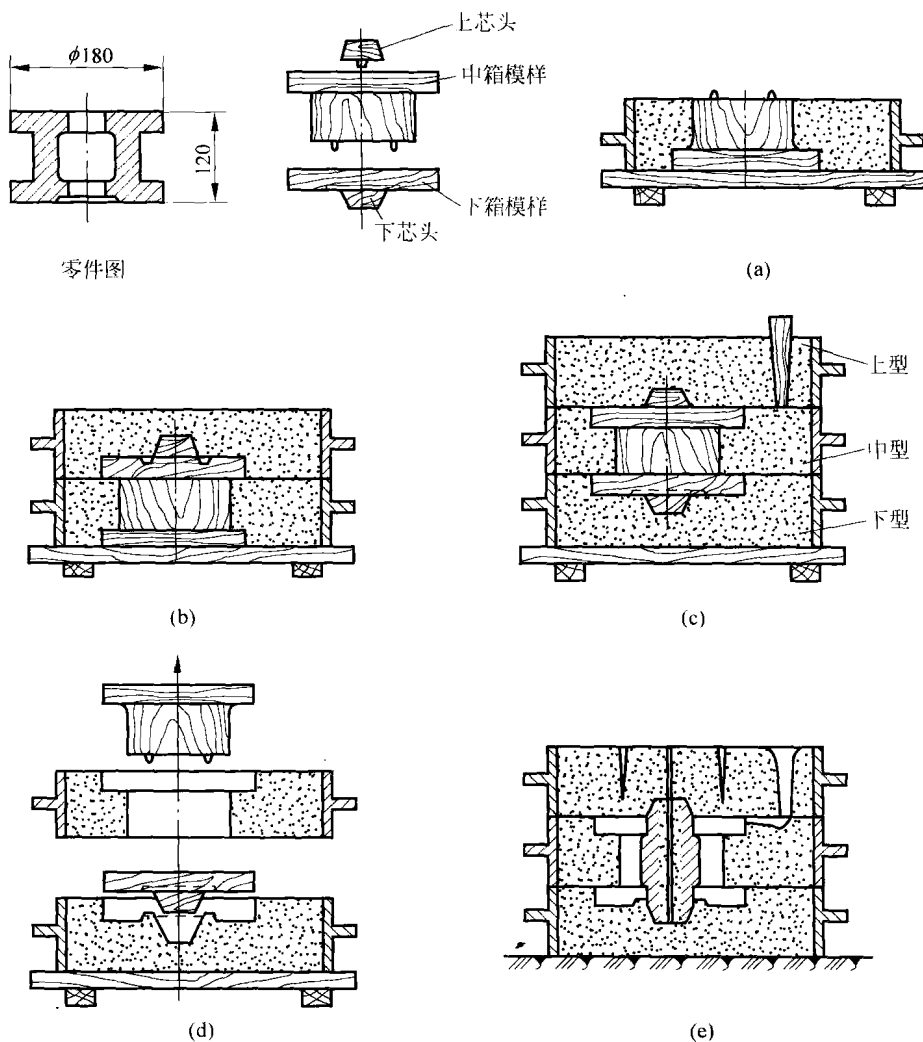


图 3.8 三箱造型

(a) 造中型; (b) 造下型; (c) 翻下、中型、造上型; (d) 依次敞箱, 起模; (e) 下芯、合型

方向的尺寸精度降低;操作较复杂,生产率较低。三箱造型适用于两头大中间小、形状较复杂而不能用两箱造型的铸件。

(6) 刮板造型 对于某些尺寸较大且为回转体的铸件(如飞轮、手轮、齿轮等)单件或小批量生产时,为了节省木模材料和费用,缩短加工工时,往往采用刮板造型。刮板是一块和铸件截面形状相适应的木板。大带轮的刮板造型过程如图 3.9 所示。

2. 机器造型

机器造型是用机器来完成填砂、紧实和起模等造型操作过程,是现代化砂型铸造车间的基本造型方法。与手工造型相比,机器造型可以提高生产率和铸件质量,减轻工人劳动强度。但其设备及工装模具投资较大,生产准备周期长,仅适用于成批、大量生产。

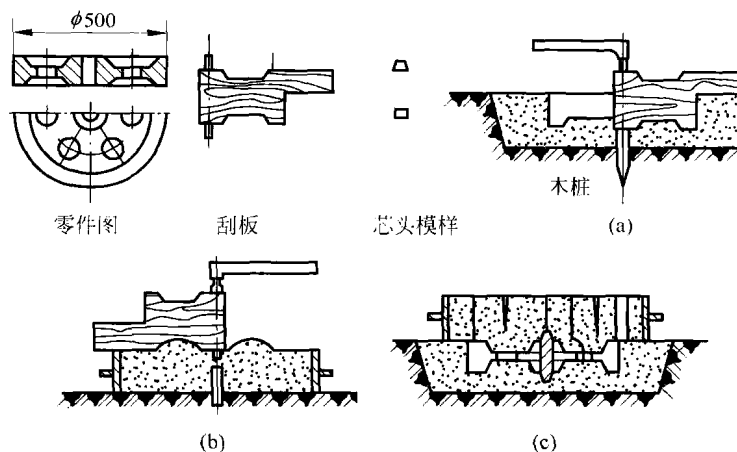


图 3.9 大带轮的刮板造型过程

(a) 刮制下型; (b) 刮制上型; (c) 下芯, 合型

机器造型一般是两箱造型, 采用模板和砂箱在专门的造型机上进行。

按砂型的紧实方式, 机器造型可分为震压式造型、高压造型、抛砂造型、空气冲击造型等。下面仅介绍目前我国中、小企业常用的震压式造型机及其生产工艺过程。

1) 震压式造型机

震压式造型机工作过程如图 3.10 所示。

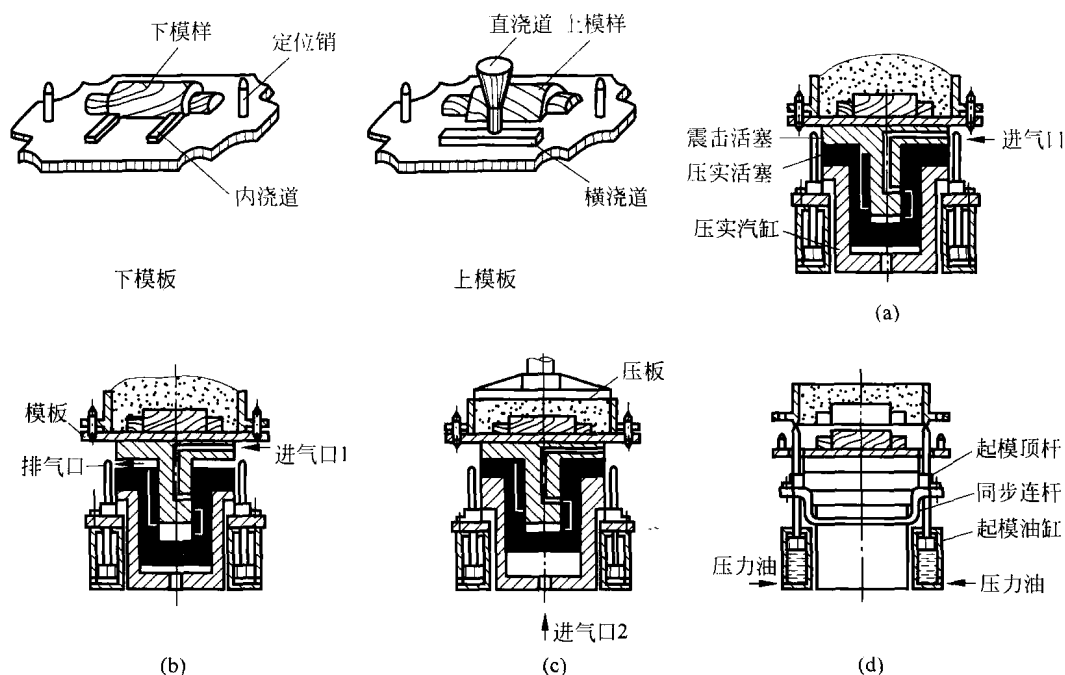


图 3.10 机器造型

(a) 填砂; (b) 震击紧砂; (c) 压实顶部型砂; (d) 起模

(1) 填砂 砂箱放在模板上, 打开定量砂斗门, 型砂从上方填入砂箱内。

(2) 震击 先使压缩空气从进气口 1 进入震击活塞底部,顶起震击活塞、模板、砂箱等,并将进气口过道关闭。当活塞上升到排气口以上时,压缩空气被排出。由于底部压力下降、震击活塞等自由下落,与压实活塞(即震击汽缸)顶面发生一次撞击。此时进气道打开,再次震击,如此反复多次,使砂型逐渐紧实。但振动紧实后的砂型上松下紧,还需将上部型砂压实。

(3) 压实 压缩空气由进气口 2 通入压实汽缸的底部,顶起压实活塞、震击活塞、模板和砂型(总称砂型组),使砂型受到压板的压实;然后转动控制阀,排气,砂型组下降。

(4) 起模 压缩空气推动机油进入下面两个起模油缸内,两根起模顶杆平稳顶起砂型,同时振动器振动,模样起出。同步连杆的作用是保证四根顶杆同步上升。

2) 造型生产线

大批生产时,为充分发挥造型机的生产率,一般采用各种铸型输送装置,将造型机和铸造工艺过程中的各种辅助设备连接起来,组成机械化或自动化的造型系统,称为造型生产线。

图 3.11 是机器造型生产线示意图。其工艺流程是:造型机分别造好上、下型,下型翻转后,由落型机送到铸型输送机的平台上,手工下芯,由合型机合上上型。压铁机放上压铁后,铸型被运送到浇注段处浇注。然后进入冷却室。冷却后压铁机取走压铁,铸型经捅箱机被送至落砂机上。落砂后,铸件和旧砂分别运到砂处理和清理工部,空砂箱被送回至造型机旁。

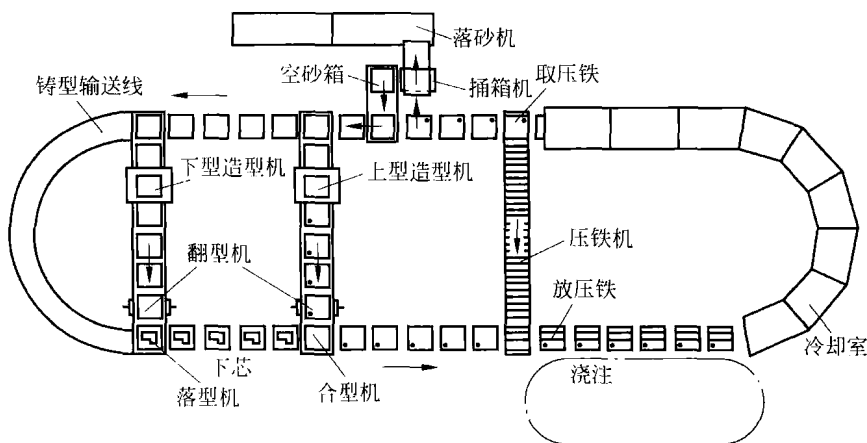


图 3.11 机器造型生产线

3.2.3 造芯方法及浇注系统

1. 型芯制造

为获得铸件的内腔或局部外形,用芯砂或其他材料制成的安放在型腔内部的铸型组元称为型芯。由于型芯的表面被高温金属液所包围,受到的冲刷及烘烤比砂型严重,因此型芯必须具有比砂型更高的强度、透气性、耐火性和退让性等性能。这主要依靠配制合格的芯砂及采用正确的造芯工艺来保证。

1) 芯砂

一般型芯可用黏土芯砂。但黏土量要比型砂高,有时也用活化膨润土,新砂比例要大并加入木屑以增加型芯的退让性和透气性。对于形状较复杂、强度要求较高的型芯多用合脂砂;少数薄壁、形状极复杂的型芯需用桐油砂;大批量生产的复杂型芯宜用树脂砂。

2) 造芯工艺特点

造芯工艺中应采取下列措施以保证型芯能满足各项性能要求。

(1) 放芯骨 型芯中应放入芯骨以提高强度,小型芯的芯骨可用铁丝,大中型芯的芯骨要用铸铁制成,为了吊运型芯方便,往往在芯骨上做出吊环。

(2) 开通气道 型芯中必须做出贯通的通气道,以提高型芯的透气性。型芯通气道一定要与砂型出气孔接通,对一些薄而较复杂的型芯,有时可采用蜡线法制作,造芯时,将蜡线埋入型芯中,当烘干时,芯中蜡线被烧掉,芯内形成通气道;对于大的型芯,在型芯中心或厚的部位填放焦炭或炉渣,可以提高排气能力,同时退让性也好。

(3) 刷涂料 大部分型芯表面要刷一层涂料,以提高耐高温性能,防止铸件粘砂。铸铁件多用石墨粉涂料,铸钢件多用石英粉涂料。

(4) 烘干 型芯与铸型不同,必须全部烘干使用。型芯烘干后强度和透气性都能得到提高。

(5) 型芯的固定 型芯的固定依靠芯头,芯头必须有足够的尺寸和适当的形状,能够使型芯牢固地固定在铸型中,以免型芯在浇注时飘浮、偏斜或移动。

芯头按其固定方式可分为垂直式、水平式和特殊式(如悬臂式、吊芯等)几种,如图 3.12 所示。其中垂直式和水平式芯头的定位方式,方便可靠,应用最多。

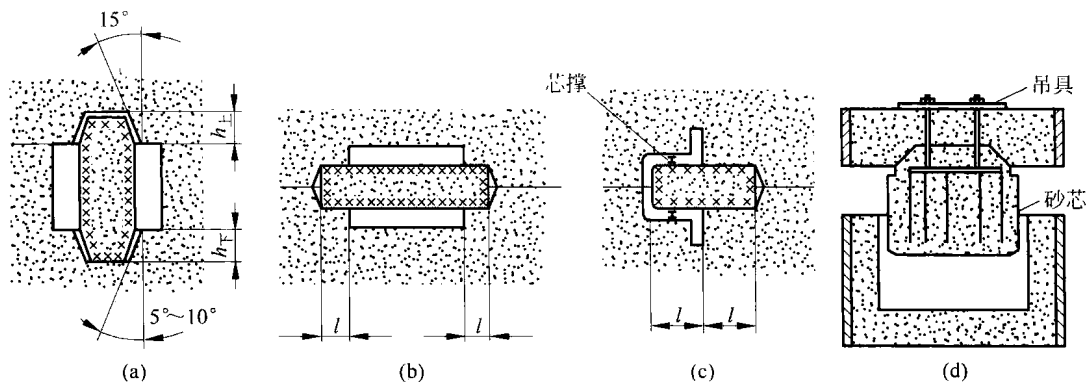


图 3.12 型芯的固定方式

(a) 垂直芯头; (b) 水平芯头; (c) 悬臂芯头; (d) 吊芯芯头

如果铸件的形状特殊,单靠芯头不能使型芯牢固定位时,可以采用钢、铸铁等金属材料制成的芯撑加以固定。芯撑在浇注时,和液态金属可以熔合在一起,但是致密性差。所以,要求承压的铸件或要求密封性好的铸件,不宜采用芯撑,以防渗漏。

同时,芯撑所用材料也应考虑和铸件材料一致为好。芯撑表面不允许有锈、油和其他污物。芯撑的形状是多种多样的(见图 3.13),应力求与铸件支撑部位形状、壁厚相一致。

2. 浇注系统

浇注系统是液体金属流入型腔中经过的一系列通道。浇注系统不当,可能使铸件出现

气孔、夹渣、砂眼、粘砂、缩孔和缩松、浇不到和冷隔以及变形、裂纹等缺陷。正确设置浇注系统,能保证铸件质量,降低金属材料的消耗。浇注系统通常由外浇口、直浇道、横浇道和内浇道组成,如图 3.14 所示。

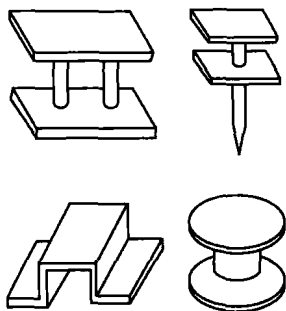


图 3.13 芯撑的形状

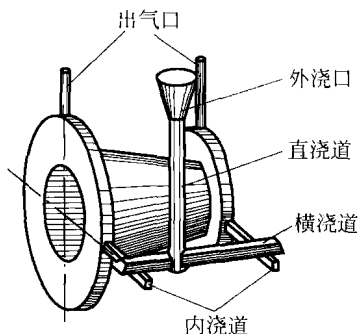


图 3.14 浇注系统

(1) 外浇口 又称浇口杯。一般单独制造或直接在铸型中形成,成为直浇道顶部的扩大部分。它的作用是缓和金属液浇入的冲力并分离熔渣。

(2) 直浇道 直浇道是浇注系统中的垂直通道,通常带有一定的锥度。利用直浇道的高度产生一定的静压力,使金属产生充型压力。直浇道高度越高,产生的充型压力越大,熔融金属流入型腔的速度越快,就越容易充满型腔的细薄部分。

(3) 横浇道 横浇道是浇注系统中的水平通道部分,断面多为梯形。它的主要作用是挡渣。

(4) 内浇道 内浇道的作用是控制金属液流入型腔的速度和方向。截面形状一般是扁梯形和月牙形,也可用三角形。

3.2.4 合型

将上型、下型、砂芯、浇口杯等组合成一个完整铸型的操作过程称为合型,又称合箱。合型是造型的最后一道工序,直接关系到铸件的质量。即使铸型和砂芯的质量很好,若合型操作不当,也会引起气孔、砂眼、错箱、偏芯、飞边和跑火等缺陷。

1. 合型的步骤

(1) 下型芯 下芯前,应先清除型腔、浇注系统和砂芯表面的浮砂,并检验其形状、尺寸和排气道是否通畅,下芯应平稳、准确。

(2) 铸型装配检验 下芯后,应用样板对装配尺寸、铸型相对位置及壁厚等进行检查。

(3) 将型芯的通气孔与大气连通。

2. 铸型的紧固

熔融金属浇入砂型时,如果金属液对上砂型的浮力超过了上型的重量,就会将上型浮起,造成跑火。因此,浇注时必须在上型上安放压铁或用螺杆、卡子等紧固件将砂箱夹紧。

3.2.5 金属的熔炼和浇注

1. 金属的熔炼

熔炼是指金属由固态通过加热转变熔融状态的过程。金属熔炼的任务是提供化学成分和温度都合格的金属液。金属液的化学成分不合格会降低铸件的力学性能和物理性能;金属液的温度过低,会使铸件产生浇不足、冷隔、气孔和夹渣等缺陷。

在铸造生产中,用得最多的合金是铸铁,铸铁通常用冲天炉或电炉来熔炼。机械零件的强度、韧性要求较高时,可采用铸钢铸造,铸钢的熔炼设备有平炉、转炉、电弧炉以及感应电炉等。有些铸件是用有色金属制造的,如铜、铝合金等。铜、铝合金的熔炼特点是金属料不与燃料直接接触,以减少金属的损耗,保持金属的纯净,在一般的铸造车间内,铜、铝合金多采用坩埚炉来熔炼。

2. 浇注

把液体金属浇入铸型的操作称为浇注。浇注不当会引起浇不到、冷隔、跑火、夹渣和缩孔等缺陷。

3.2.6 铸件的落砂、清理和缺陷分析

1. 落砂

从砂型中取出铸件的工作称为落砂。落砂时应注意铸件的温度。落砂过早,铸件温度过高,暴露于空气中急速冷却,易产生过硬的白口组织及形成铸造应力、裂纹等缺陷。但落砂过晚,将过长地占用生产场地和砂箱,使生产率降低。一般说来,应在保证铸件质量的前提下尽早落砂,一般铸件落砂温度在 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 之间。铸件在砂型中合适的停留时间与铸件形状、大小、壁厚及合金种类等有关。形状简单、小于 10 kg 的铸铁件,可在浇注后 $20\sim 40\text{ min}$ 落砂; $10\sim 30\text{ kg}$ 的铸铁件,可在浇注后 $30\sim 60\text{ min}$ 落砂。

落砂的方法有手工落砂和机械落砂两种,大批量生产中采用各种落砂机落砂。

2. 清理

落砂后,从铸件上清除表面粘砂和多余金属等过程称为清理,清理工作主要包括下列内容。

(1) 切除浇冒口 铸铁件性脆,可用铁锤敲掉浇冒口;铸钢件要用气割切除;有色金属铸件则用锯割切除。大量生产时,可用专用剪床切除。

(2) 清除砂芯 铸件内腔的砂芯和芯骨可用手工、振动出芯机或水力清砂装置去除。水力清砂方法适用于大、中型铸件砂芯的清理,可保持芯骨的完整,便于回收再利用。

(3) 清理粘砂 铸件表面常黏结一层熔融态的砂子,需要清理干净。小型铸件广泛采用滚筒清理、喷丸清理,大中型铸件可用抛丸室、抛丸转台等设备清理,生产量不大时也可用手工清理。

(4) 铸件的修整 最后要去掉在分型面或芯头处产生的飞边、毛刺和残留的浇、冒口痕迹的操作。一般采用各种砂轮、手凿及风铲等工具进行。

(5) 铸件的热处理 由于铸件在冷却过程中难免会出现不均匀和粗大晶粒等组织,同时又难免会存在铸造热应力,故清理以后要进行退火、正火等热处理。

3. 铸件缺陷分析

铸造生产中,影响铸件质量的因素很多,有时一种缺陷由多种因素造成,或一种因素可能引起多种缺陷。分析时必须从实际出发,根据具体条件找出缺陷的主要原因,采取相应措施,才能有效地防止和消除缺陷。铸件常见缺陷及产生的原因见表 3.1。

表 3.1 铸件常见缺陷及产生的原因

类 别	缺陷名称和特征	主要产生原因
孔 洞	气孔: 铸件内部出现的孔洞, 常为圆形, 孔的内壁较光滑	(1) 砂型紧实度过高; (2) 型砂太潮, 起模、修型时刷水过多; (3) 砂芯未烘干或通气道堵塞; (4) 浇注系统不正确, 气体排不出去
	缩孔: 铸件厚截面处出现的形状极不规则的孔洞, 孔的内壁粗糙 缩松: 铸件截面上细小而分散的缩孔	(1) 浇注系统或冒口设置不正确, 无法补缩或补缩不足; (2) 浇注温度过高, 金属液收缩过大; (3) 铸件设计不合理, 壁厚不均匀无法补缩; (4) 合金成分不合理, 收缩过大
	砂眼: 铸件内部或表面带有砂粒的孔洞	(1) 型砂强度不够或局部没春紧, 掉砂; (2) 造型时浮砂未吹净; (3) 合型时砂型局部损坏; (4) 浇注系统不合理, 冲坏砂型(芯)
	渣眼: 孔眼内充满熔渣, 孔形不规则	(1) 浇注温度太低, 熔渣不易上浮; (2) 浇注时没挡住熔渣; (3) 浇注系统不正确, 挡渣作用差
表面缺陷	粘砂: 铸件表面黏附着一层砂粒和金属的机械混合物, 使表面粗糙	(1) 砂型春得太松; (2) 浇注温度过高; (3) 型砂耐火性差
	夹砂: 铸件表面有一层突起的金属片状物, 表面粗糙, 在金属片和铸件之间夹有一层型砂	(1) 型砂受热膨胀, 表层鼓起或开裂; (2) 型砂湿态强度较低; (3) 砂型局部过紧, 水分过多; (4) 内浇口过于集中, 使局部砂型烘烤严重; (5) 浇注温度过高, 浇注速度太慢
形状尺寸不合格	浇不到: 铸件未浇满, 形状不完整 冷隔: 铸件上有未完全融合的缝隙, 边缘呈圆角	(1) 浇注温度过低; (2) 浇注速度过慢或断流; (3) 内浇道截面尺寸过小, 位置不当; (4) 未开出气口, 金属液的流动受型内气体阻碍; (5) 远离浇口的铸件壁过薄
	错箱: 铸件在分型面处错开	(1) 合箱时上、下箱未对准; (2) 定位销或合箱标记不准; (3) 造型时上、下模样未对准

续表

类 别	缺陷名称和特征	主要产生原因
形状尺寸不合格	偏芯：铸件局部形状和尺寸由于型芯位置偏移而变动	(1) 型芯变形； (2) 下芯时放偏； (3) 型芯没固定好，浇注时被冲偏
	变形	(1) 铸件壁厚差太大； (2) 冷却速度不一致； (3) 开箱过早
其他	热裂：铸件裂纹处表面氧化，呈暗蓝色 冷裂：裂纹处表面不氧化，并发亮	(1) 砂型(芯)退让性差，内应力过大； (2) 浇注系统开设不当，阻碍铸件收缩； (3) 铸件设计不合理，厚薄差别过大

3.3 特种铸造及铸造新工艺

与砂型铸造不同的其他铸造方法统称为特种铸造。特种铸造方法很多，而且各种新方法还在不断出现。

3.3.1 熔模铸造

熔模铸造是用易熔材料(如蜡料)制成模样，在模样上包覆若干层耐火涂料，制成型壳，用熔化的方法使模样消失后，型壳经高温焙烧、浇注而获得铸件的方法，又称失蜡铸造。

图 3.15 所示为叶片的熔模铸造工艺过程示意图。先在压型中做出单个蜡模(见

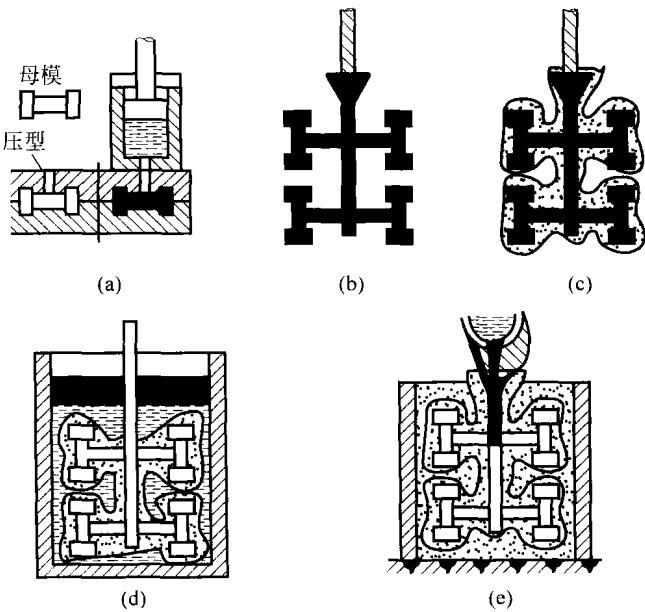


图 3.15 熔模铸造工艺过程

(a) 压制蜡模；(b) 蜡模组；(c) 结壳；(d) 脱蜡；(e) 浇注

图 3.15(a)),再把单个蜡模焊到浇注系统蜡模上(统称为蜡模组,见图 3.15(b))。随后在蜡模组上分层涂挂涂料及撒上石英砂,并硬化结壳(见图 3.15(c))。熔化蜡模,得到中空过硬型壳(见图 3.15(d))。壳型经高温焙烧去掉杂质后浇注(见图 3.15(e))。冷却后,将型壳打碎取出铸件。因此,熔模铸造的铸型也属于一次性铸型。

熔模铸造的特点及应用如下。

(1) 铸件的精度和表面质量高 由于熔模铸造所用的蜡模尺寸精确,表面光洁,型腔无分型面,所以铸件的尺寸精度较高,表面粗糙度值较低。尺寸公差等级一般可达 IT11~IT14,表面粗糙度可达 $Ra\ 2.5\sim6.3\ \mu\text{m}$ 。

(2) 可生产各类金属材料的铸件 由于可选用高级耐火材料制型壳,所以许多高熔点的合金铸件都可以用熔模铸造法制造。

(3) 可制造形状较复杂的铸件 铸出孔的最小直径为 $0.5\ \text{mm}$,铸件最小壁厚可达 $0.3\ \text{mm}$ 。对由几个零件组成的复杂部件,适于用熔模铸造整体铸出。

(4) 生产批量不受限制 中小批量或大批量均可,特殊需要时也可单件生产。在大批量生产条件下,可采用机械化流水作业。

(5) 工艺过程较复杂,生产周期长,铸件成本高 由于受蜡模和型壳强度、刚度的限制,铸件不宜过大,多用于小型零件(几十 g~几 kg),一般不超过 $25\ \text{kg}$ 。

熔模铸造是少、无切削加工工艺的方法之一,在机械制造业中,对于形状复杂、机械加工困难的零件,可考虑采用熔模铸造。目前应用最多的是生产碳钢和合金钢铸件,如汽轮机叶片、泵的叶轮、切削刀具、仪表元件、汽车、拖拉机、机床和风动工具上的小型零件等。

3.3.2 金属型铸造

在重力下把金属液浇入金属型而获得铸件的方法称为金属型铸造。一般金属型用铸铁或耐热钢制成,结构如图 3.16 所示。

金属型铸造的特点和应用如下。

(1) 生产率高 金属型铸造实现了一型多铸,一个铸型可以做几百个甚至几万个铸件,从而大大地提高了生产效率,改善了劳动条件,并且易于实现机械化和自动化生产。

(2) 金属型内腔表面光洁,刚度大,因此铸件精度高、表面质量好。

(3) 金属型导热快,铸件冷却速度快,凝固后晶粒细小,其力学性能得到显著提高。

但是金属型的制造成本高,生产周期长。同时,铸造工艺要求严格,否则容易出现浇不足、冷隔、裂纹等铸造缺陷,而灰铸铁件还容易产生白口组织。此外,金属型铸件的形状和尺寸还有一定的限制,不宜生产大型、薄壁和形状复杂的铸件。

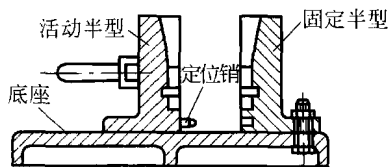


图 3.16 金属型结构

3.3.3 压力铸造

压力铸造简称压铸。它是在高压下($5\sim150\ \text{MPa}$)将液态或半液态合金快速地压入金属铸型中,并在压力下凝固,以获得铸件的方法。它是现代金属加工中发展较快、应用较广

的一种少、无切削工艺方法。

用于压力铸造的机器称为压铸机,压铸机的种类很多,其生产工艺过程如图 3.17 所示。

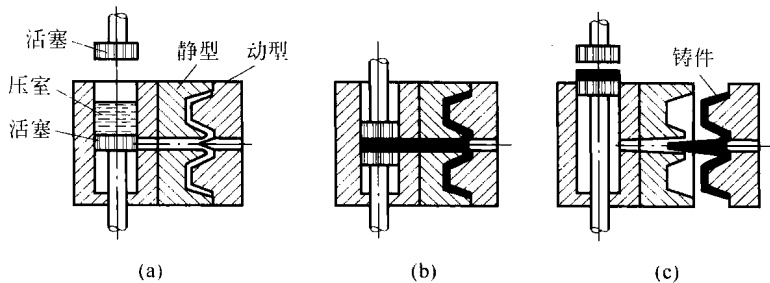


图 3.17 压力铸造工艺过程

(a) 合型, 浇入金属液; (b) 高压射入, 凝固; (c) 开型, 顶出铸件

压力铸造的特点与应用如下。

(1) 高压和高速充型是压力铸造的最大特点, 因此, 它可以铸出形状复杂、轮廓清晰的薄壁铸件, 如铝合金压铸件的最小壁厚可为 0.5 mm , 最小铸出孔直径为 0.7 mm 。

(2) 铸件的尺寸精度高(公差精度等级可达 IT11~IT13), 表面质量好(表面粗糙度为 $Ra3.2\sim5.6\text{ }\mu\text{m}$), 一般不需要机械加工可直接使用; 而且组织细密, 铸件强度高。

(3) 压铸件中可嵌铸其他材料(如钢、铁、铜合金、金刚石等)的零件, 以节省贵重材料和机械加工工时。有时嵌铸还可以代替部件的装配过程。

(4) 生产率高, 劳动条件好, 压力铸造是所有铸造方法中生产率最高的。

压力铸造存在的不足之处主要是: 压铸机造价高、投资大, 压铸型结构复杂、制造费用高、生产周期长, 而且因工作条件恶劣易损坏。由于液态金属高速充型, 型腔内气体很难排除, 厚壁处的收缩也很难补缩, 致使铸件内部常有气孔和缩松。因此, 压铸件不宜进行较大余量的切削加工, 以防孔洞的外露。同样热处理加热时孔内气体膨胀将导致铸件表面起泡, 所以压铸件不能用热处理方法来提高性能。必须指出, 随着黑色金属压铸、真空压铸、加氧压铸的出现和发展, 以及可溶型芯、超声波等新工艺在压铸上的应用, 不仅扩大了压铸的生产范围, 也使压铸的某些缺点有了改善。

目前, 压力铸造已在汽车、拖拉机、航空、兵器、仪表、电器、计算机、轻纺机械、日用品等制造业得到了广泛应用, 如汽缸体、箱体、化油器、喇叭外壳等铝、镁、锌合金铸件生产。

3.3.4 离心铸造

离心铸造是将金属液浇入旋转的铸型中, 然后在离心力的作用下, 凝固成形的铸造方法, 其原理如图 3.18 所示。离心铸造一般都是在离心机上进行的, 铸型多采用金属型。铸型可以围绕垂直轴旋转, 也可以围绕水平轴旋转。

离心铸造的特点与应用如下。

(1) 铸件在离心力的作用下凝固, 组织细密, 无缩孔、气孔、渣孔等缺陷, 铸件的机械性能较高。

(2) 铸造圆形中空的铸件可不必用砂芯。

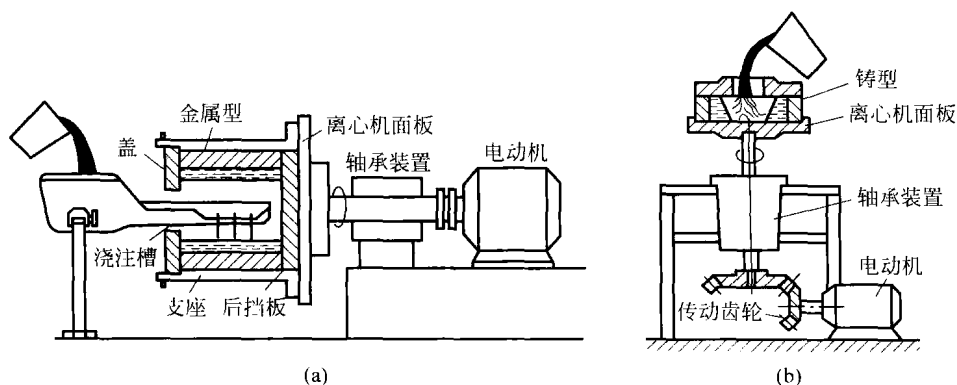


图 3.18 离心铸造

(a) 卧式离心铸造示意图; (b) 立式离心铸造示意图

- (3) 不需要浇注系统,提高了金属液的利用率。
 - (4) 内孔尺寸不精确、非金属夹杂物较多,增加了内孔的加工余量。
 - (5) 易产生比重偏析,不宜铸造比重偏析大的合金,如铅青铜。
- 离心铸造常用于铸造铸铁管、钢辊筒、铜套,也可用来铸造成形铸件。

3.3.5 实型铸造

实型铸造又称消失模铸造或汽化模铸造。其原理是用泡沫塑料制作的模样代替木模和金属模样,造型后不取出模样,当浇入高温金属液时泡沫塑料模样因燃烧、汽化而消失,金属液填充占据原来模样所具有的空间位置,凝固冷却后即获得铸件。如图 3.19 所示。

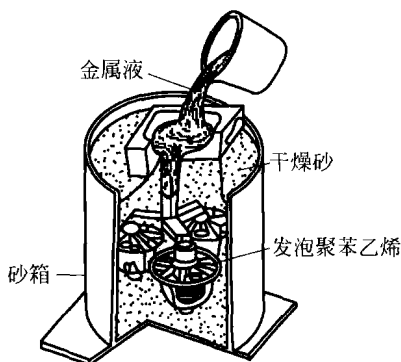


图 3.19 实型铸造

实型铸造的型砂有以水玻璃或树脂为黏结剂的自硬砂和无黏结剂的干石英砂。目前应用较为普遍的是无黏结剂干石英砂造型法。先在砂箱中填入部分干砂,然后放入刷过涂料并烘干的泡沫塑料模样,继续在砂箱中填满干砂,填砂的同时进行微振,获得具有一定紧实度的铸型。在砂箱上安放带有孔洞的压板和压铁并安装浇口杯,接负压系统(为提高型砂的强度,通常在真空下浇注),浇注金属液,待铸件凝固冷却后,即可落砂取出铸件。

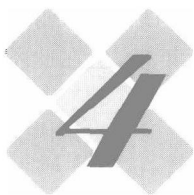
实型铸造的特点与应用如下。

- (1) 由于铸型没有分型面,省去起模和修型工序,便于制出凸台、法兰、筋条、吊钩等在普通砂型铸造中需要活块(或型芯)的结构,从而可简化造型工艺,降低劳动强度。
- (2) 加大了铸件结构的自由度,简化了铸件结构和工艺设计。
- (3) 铸件尺寸精度优于普通砂型铸造。铸件无飞边毛刺,减轻了铸件清理工作量。
- (4) 泡沫塑料模汽化产生的烟雾,对生产环境有一定的影响。
- (5) 生产大尺寸的铸件时,由于模样易变形,须采取适当的防变形措施。

实型铸造适用范围较广,几乎不受铸造合金、铸件大小及生产批量限制,尤其适用于形状复杂件,如模具、汽缸体、管件、曲轴、叶轮、壳体、艺术品、床身、机座等。近年来,已在此基础上发展出磁型铸造、实型负压造型、实型精密铸造等新工艺。

复习思考题

1. 什么是铸造? 有什么特点? 用于铸造的金属有哪些?
2. 砂型铸造包括哪些主要工序?
3. 浇注系统由哪几部分组成,各部分的作用是什么?
4. 什么是分模面? 如何选择?
5. 型(芯)砂的主要组成及作用是什么?
6. 型砂应具备哪些性能? 这些性能如何影响铸件的质量?
7. 型芯的作用是什么? 如何固定?
8. 模样、铸件、零件三者有何联系? 在形状和尺寸上又有哪些区别?
9. 常用的特种铸造有哪些? 各有哪些特点?



锻 压 成 形

4.1 概 述

锻压是对金属坯料施加外力,使之产生塑性变形,从而改变尺寸、形状并同时改善性能,制造机器零件、工具或毛坯的加工方法,是锻造和冲压的总称。

金属的锻造一般是在加热状态下,将金属坯料放在锻造设备的砧铁与模具之间,施加冲击力或静压力获得毛坯或零件的方法。同铸造相比,锻造过程中,金属因经历塑性变形而使其内部组织更加致密、均匀,回复与再结晶过程使得晶粒得到细化,力学性能得到一定程度的改善。但由于锻造生产是在固态下进行的,因此同铸件相比,锻件的形状不能过于复杂,且加工余量较大,金属材料的利用率较低。因此,锻件主要用作承受重载和冲击载荷的重要机器零件和工具的毛坯,如机床主轴、齿轮、连杆、曲轴、刀具、锻模等。

冲压是利用冲模使金属板料产生塑性变形或分离,而获得零件或毛坯的工艺方法。冲压加工的板料厚度通常在 2 mm 以下,一般在常温下进行,习惯称为冷冲压。金属冷变形时内部晶粒破碎,晶格扭曲,产生加工硬化现象,即引起金属的强度、硬度提高,塑性、韧性下降。因此,冲压件具有刚性好、重量轻、尺寸精度和表面光洁程度高等特点,在各类机械、仪器仪表、电子器件、电工器材以及家用电器、生活用品制造中占有重要地位。

4.2 锻造生产过程

锻造生产主要过程为:坯料加热→受力成形→冷却→热处理。

4.2.1 坯料加热

1. 锻造性能

金属的锻造性能是指金属承受锻造成形的能力,通常用塑性与变形抗力这两个性能指标来衡量。塑性是金属产生不能自行恢复其原始形状与尺寸的变形且不破坏的能力;变形抗力是金属抵抗外力作用的能力。金属的塑性越高,变形抗力越低,锻造性能越好,越有利于塑性成形。纯金属都有良好的锻造性能,如铜、铝等有色金属是常用的锻造材料;钢的含碳量及合金元素的含量越低,锻造性能越好,如低碳钢、中碳钢及低合金钢具有良好的锻造

性能;铸铁属于脆性材料,不能进行锻压加工,则不能采用锻造的方法成形。

通常在锻造前要对坯料进行加热,使坯料在一定的变形温度下成形,其目的就是提高坯料的塑性,降低变形抗力,改善其锻造性能,使金属材料可以在较小的锻打力作用下产生较大的变形而不破裂。

2. 锻造温度范围

锻造温度范围是指始锻温度到终锻温度之间的温度间隔。始锻温度是金属开始锻造的温度,其选择的原则应是在加热过程中不产生过热和过烧的前提下,取上限;终锻温度是金属停止锻造的温度,其选择原则应是保证金属具有足够的塑性变形能力的前提下,取下限。这样才可以使金属材料具有较大的锻造温度范围,有充裕的变形时间来完成一定变形量,减少加热次数,降低能源及材料损耗,提高生产效率,并且可以避免金属材料变形过程中产生锻裂和损坏设备等现象。

常用钢材的锻造温度范围如表 4.1 所示。

表 4.1 常见钢材的锻造温度范围

种 类	始锻温度/℃	终锻温度/℃	种 类	始锻温度/℃	终锻温度/℃
碳素结构钢	1200~1250	800	高速工具钢	1100~1150	900
合金结构钢	1150~1200	800~850	耐热钢	1100~1150	800~850
碳素工具钢	1050~1150	750~800	弹簧钢	1100~1150	800~850
合金工具钢	1050~1150	800~850	轴承钢	1080	800

3. 加热设备

锻造加热炉按热源的不同,分为火焰加热炉和电加热炉两大类。

常用的火焰加热炉有手锻炉、反射炉(如图 4.1 所示)、室式炉(如图 4.2 所示),常用燃料有烟煤、焦炭、重油、煤气等。手锻炉、反射炉以烟煤、焦炭为燃料,温度控制较难,炉料氧化、脱碳现象严重,环境污染严重,正逐步淘汰。室式炉以重油、煤气等为燃料,炉体结构简单、紧凑,热效率高,对环境污染小。

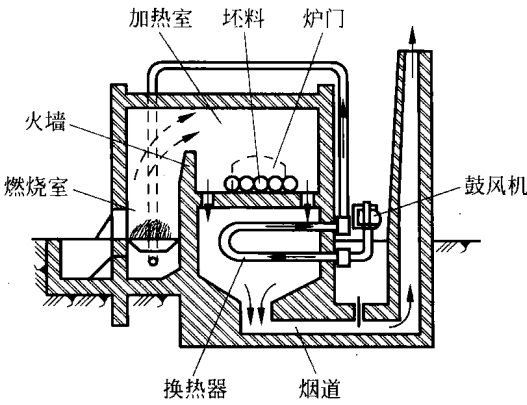


图 4.1 反射炉

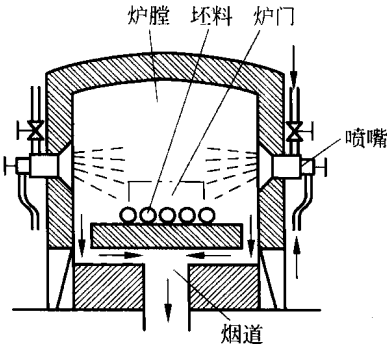


图 4.2 室式重油炉

电加热炉有电阻加热炉(如图 4.3 所示)、接触电加热炉和感应加热炉等。具有加热速度快,温度控制准确,氧化、脱碳现象少,易于实现机械化和自动化等优点。但设备费用较高,电能消耗大,适用于规格品种变化小的锻件的大批量生产。

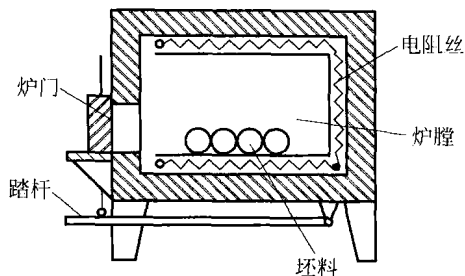


图 4.3 箱式电阻炉

4. 加热缺陷

(1) 氧化 加热时,金属坯料的表层与高温的氧化性气体,如氧气、二氧化碳、水蒸气等发生化学反应,生成氧化皮,称为氧化,氧化皮的重量称为烧损量。每加热一次(称为一个火次),就会产生一定的烧损量。加热方法不同,烧损量不同。

(2) 脱碳 由于钢是铁元素与碳元素组成的合金,在加热时,碳元素与炉气中的氧或氢元素发生化学反应而烧损,造成金属表层碳含量降低,这种现象称为脱碳。脱碳可以使金属表层的强度和硬度降低,影响锻件质量,如果脱碳层过厚,可导致锻件报废。

(3) 过热 坯料的加热温度超过始锻温度,或在始锻温度下保温时间过长的情况下,金属的内部显微组织会长大变粗,这种现象称为过热。过热组织的机械性能差,塑性降低,脆性增加,锻造时容易产生裂纹。矫正过热组织的方法是热处理(调质或正火),也可以采用多次连续锻打使晶粒细化。

(4) 过烧 坯料加热温度超过始锻温度过高,或已产生过热的坯料在高温下保温时间过长,就会造成晶粒边界的氧化和晶界处低熔点杂质的熔化,致使晶粒之间连接力降低,这种现象称为过烧。产生过烧的坯料是无法挽回的废品,锻打时,坯料会像煤渣一样碎裂,碎渣表面呈灰色氧化状。

(5) 加热裂纹 尺寸较大的坯料,或高碳钢、高合金钢坯料(导热性差),在加热时,如果加热速度过快,或装炉温度过高,会导致坯料各部分之间存在较大的温差,产生热应力,而此时高温下材料抗拉强度较低,易产生裂纹。因此加热大的坯料,或高碳钢、高合金钢坯料时要严格遵守加热规范(装炉温度、加热速度、保温时间等)。

4.2.2 锻件的冷却

空冷: 碳素结构钢和低合金结构钢的中小型锻件,锻后可散放于干燥的地面上,在无风的空气中冷却,此法冷却速度较快。

坑冷: 大型结构复杂件或高合金钢锻件,锻后一般放于有干砂、石棉灰或炉灰的坑内,或堆落在一起冷却,此法冷却速度较慢,可避免冷却速度较快而导致表层硬化,难以进行后序切削加工,也可避免锻件内外温差过大产生的裂纹。

炉冷: 锻件锻造成形后在 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的加热炉内随炉缓慢冷却,此法冷却速度最慢,适合于要求较高的锻件。

4.2.3 热处理

锻件成形后,在切削加工之前一般都要进行一次热处理。热处理的主要目的是消除锻造残余应力,降低锻件硬度,以便于进行切削加工,同时还可以细化、均匀内部组织。常用的热处理方法有正火、退火等,具体的热处理方法和工艺要依据锻件的大小、材料种类及形状复杂程度确定。

4.3 自由锻

自由锻是采用通用工具或在锻造设备的上、下砧铁之间使坯料变形,从而获得所需几何形状及内部质量的锻件的加工方法,坯料受力变形时,沿变形方向可以自由流动,不受限制。根据自由锻对坯料施加外力性质的不同,分为锻锤和液压机两大类。锻锤产生冲击力使坯料变形,由于能力有限,只能锻造中小锻件。大型锻件只能在水压机上进行,另外,重要锻件和特殊钢的锻造主要以改善内部质量为主。

4.3.1 自由锻工具与设备

1. 工具

自由锻工具种类很多,按用途可分为:

- (1) 支持工具,如铁砧,如图 4.4 所示;
- (2) 打击工具,如手锤、大锤、平锤等,如图 4.5 所示;
- (3) 成形工具,如冲子、棒子等,如图 4.6 所示;
- (4) 夹持工具,如钳子等,如图 4.7 所示;

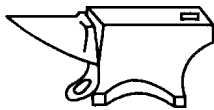


图 4.4 支持工具

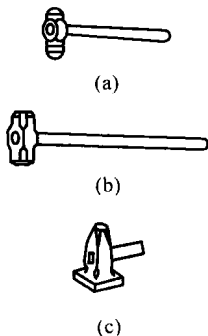


图 4.5 打击工具

(a) 手锤; (b) 大锤; (c) 平锤

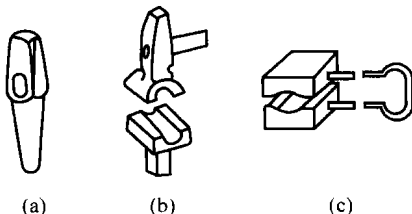


图 4.6 成形工具

(a) 冲子; (b)、(c) 棒子

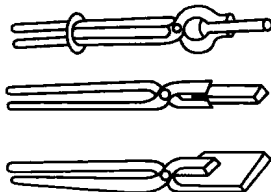


图 4.7 夹持工具

- (5) 量具,如直尺、卡钳等,如图 4.8 所示。

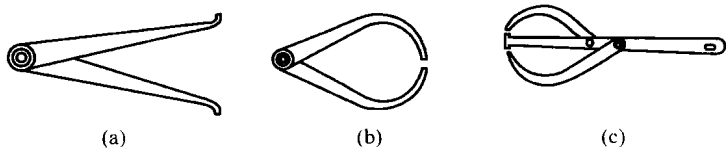


图 4.8 量具

(a) 内卡; (b) 外卡; (c) 双卡

2. 设备

自由锻设备主要有空气锤、蒸汽-空气锤和水压机。

空气锤结构及规格：空气锤由锤身、压缩缸、工作缸、传动机构、操纵机构、落下部分及砧座等几个部分组成。锤身和压缩缸及工作缸铸造为一体。传动机构包括电动机、减速机构及曲柄、连杆等。操纵机构包括手柄(或踏杆)、旋阀及其连接杠杆。落下部分包括工作活塞、锤杆、锤头和上砧铁等。落下部分的质量也是锻锤的规格参数。例如, 150 kg 空气锤, 表示落下部分的质量为 150 kg 的空气锤。空气锤的结构及工作原理如图 4.9 所示。

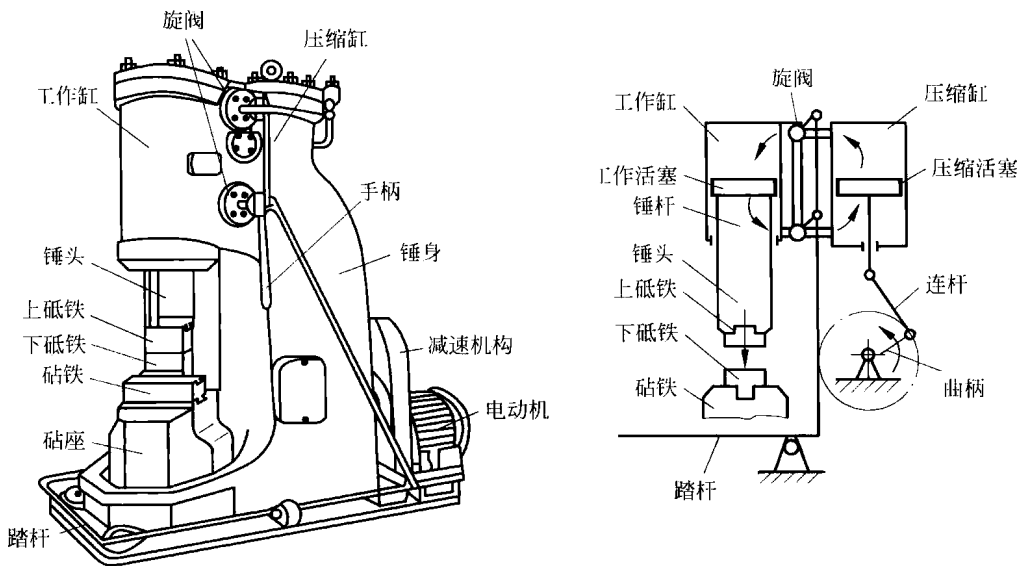


图 4.9 空气锤的结构及工作原理

电动机通过传动机构带动压缩缸内的压缩活塞作上下往复运动, 将空气压缩, 经过旋阀压入工作缸的上部或下部, 推动工作活塞向下或向上运动。通过踏杆或手柄操纵旋阀, 可实现空转、锤头上悬、锤头下压、连续打击、单次打击动作。

4.3.2 自由锻工序

1. 基本工序

基本工序是实现锻件基本形状和尺寸的工序, 包括镦粗、拔长、冲孔、弯曲、切割、扭转、

错移等。

1) 镦粗

镦粗是使坯料的横截面积增大、高度减小的工序,分整体镦粗和局部镦粗,如图 4.10 所示,其操作要点如下所述。

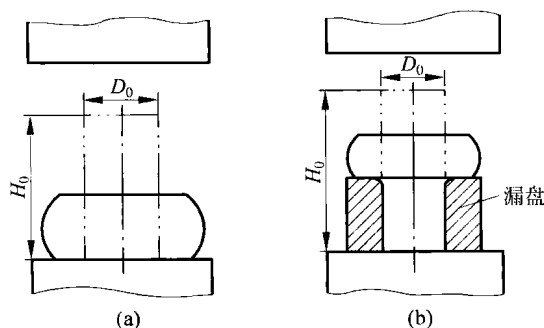


图 4.10 镦粗

(a) 整体镦粗; (b) 局部镦粗

(1) 坯料的原始高度 H_0 与直径 D_0 之比,应小于 3(局部镦粗时,漏盘以上的镦粗部分的高径比也应小于 3)。若高径比过大,易发生镦弯现象。矫正方法如图 4.11 所示。

(2) 锤击力不足时,易产生双鼓形,若未及时纠正而继续变形,将导致折叠,使坯料报废,如图 4.12 所示。

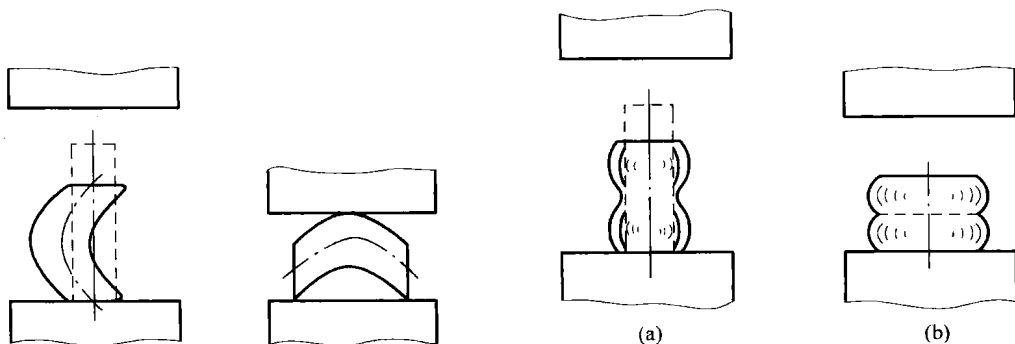


图 4.11 镦弯及其矫正方法

图 4.12 双鼓形和折叠

(a) 双鼓形; (b) 折叠

(3) 坯料的端面应与轴线垂直,否则易镦歪。

(4) 局部镦粗时,应选择或加工合适的漏盘。漏盘要有 $5^\circ \sim 7^\circ$ 的斜度,且其上口部位应采取圆角过渡,以便于取出锻件。

(5) 坯料镦粗后,利用余热进行滚圆修整。滚圆修整时,坯料轴线与砧铁表面平行,要一边轻轻锤击,一边滚动坯料。

2) 拔长

拔长是使坯料长度增加、横截面减小的工序,其操作要点如下。

(1) 拔长时,工件每次向砧铁上的送进量 L 应为砧坯料宽度 B 的 $0.3 \sim 0.7$ 。送进量过大,降低拔长效率;过小,易产生折叠。如图 4.13 所示。

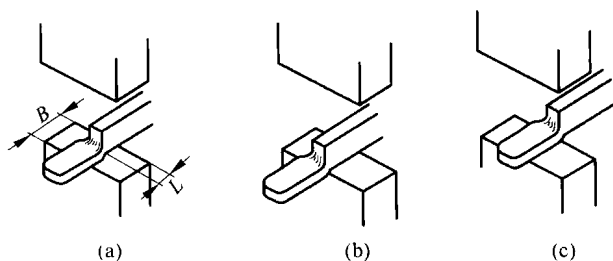


图 4.13 拔长送进量

(a) 送进量合适；(b) 送进量太大，拔长效率低；(c) 送进量太小，产生折叠

(2) 拔长时，每次的压下量不宜过大，否则产生夹层。

(3) 拔长过程中，要不断翻转锻件，保证各部分温度均匀。翻转方法如图 4.14 所示，分别适合于拔长大型锻件或质量较轻的阶梯轴类锻件。

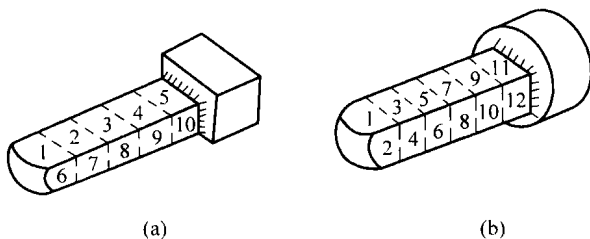


图 4.14 拔长时坯料翻转方法

(a) 拔长大型锻件；(b) 拔长轻型锻件

(4) 无论锻件原始坯料截面和最终截面形状如何，拔长变形应在方形截面下进行，以避免中心裂纹，并提高拔长效率，拔长顺序如图 4.15 所示。

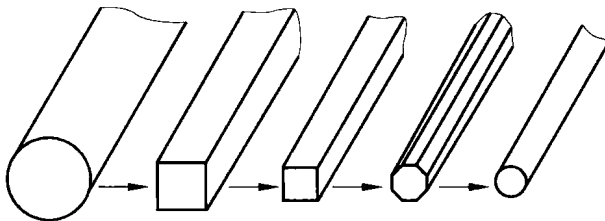


图 4.15 拔长顺序

(5) 拔长后应进行修整，提高锻件的表面光洁度与尺寸精度，送进方向为砧铁长度方向。方形、矩形截面锻件在砧子上修整，圆形截面锻件在棒子上修整，如图 4.16 所示。

3) 冲孔

冲孔是在坯料上锻出孔的工序，分为单面冲孔(见图 4.17)和双面冲孔(见图 4.18)。冲孔的操作要点如下。

(1) 直径小于 25 mm 的孔一般不冲。

(2) 为保证孔位正确，应先试冲，即先用冲子压出孔位的凹痕。为顺利拔出冲头，可在凹痕上撒一些煤粉，同时经常冷却冲头。

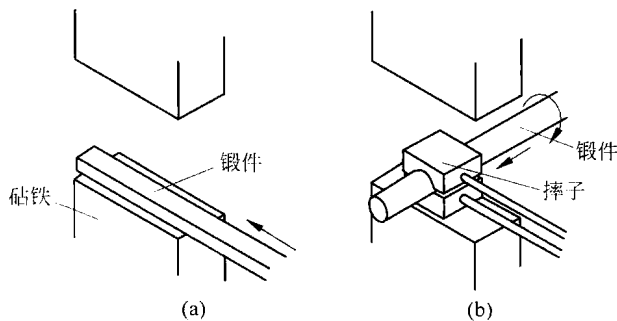


图 4.16 修整

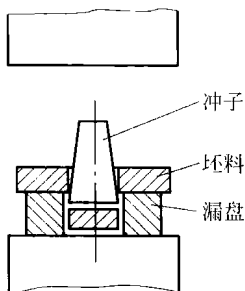


图 4.17 单面冲孔

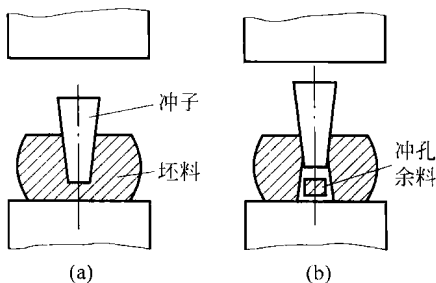


图 4.18 双面冲孔

(3) 冲孔前坯料必须先墩粗,以减少冲孔深度,使端面平整,防止将孔冲斜。双面冲孔时,先将冲头冲至约坯料高度的 $2/3$ 深度,翻转坯料后将孔冲通,可避免孔的周围冲出毛刺。

(4) 冲较大的孔时,要先用直径较小的开孔冲头冲出小孔,然后再用直径较大的冲头逐步将孔扩大到所要求的尺寸,如图 4.19 所示;或在心轴上扩孔,如图 4.20 所示。

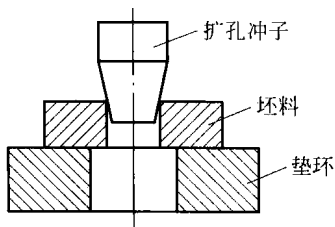


图 4.19 冲头扩孔

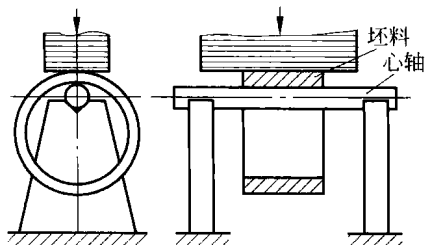


图 4.20 心轴上扩孔

4) 弯曲

弯曲是采用工模具将毛坯弯成一定角度或弧度的工序,包括角度弯曲(如图 4.21)和成形弯曲(如图 4.22 所示)。弯曲主要用于锻造各种弯曲类零件,如起重吊钩、弯曲轴杆、链环等。注意,弯曲时只需要在受弯部位加热坯料,但要进行弯曲部位的局部墩粗,并修出台肩,在被拉伸部分留出一定的多余金属,弥补弯曲后断面形状改变的需要。

5) 切割

切割是分割坯料或切除锻件余料的工序。步骤是先将剁刀(见

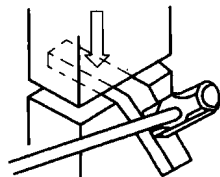


图 4.21 角度弯曲

图 4.23)垂直切入工件,至快要断开时翻转工件,再用剁刀或克棍(见图 4.24)截断,其过程如图 4.25 所示。注意,切割圆形工件时,需要带有凹槽的剁垫,如图 4.26 所示。切割后残留在毛坯端面上的毛刺,应在较低温度下及时去除,以免锻造时陷入锻件内部造成夹层缺陷。

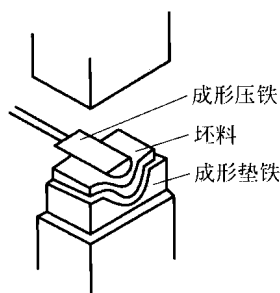


图 4.22 成形弯曲

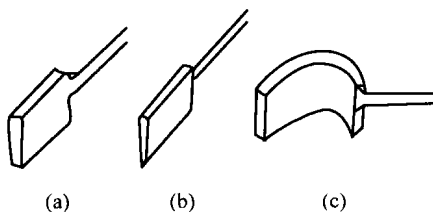


图 4.23 剁刀

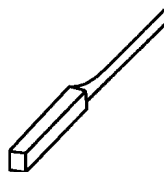


图 4.24 克棍

(a) 普通剁刀; (b) 单面剁刀; (c) 成形剁刀

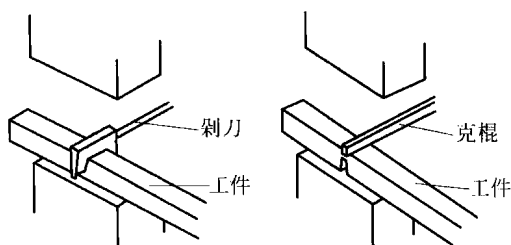


图 4.25 方料的切割

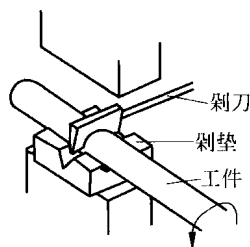


图 4.26 圆料的切割

6) 扭转

扭转是在保持坯料轴线方向不变的情况下,将坯料的一部分相对于另一部分扭转一定角度的工序,如图 4.27 所示。操作时应注意受扭部分沿全长横截面积要均匀一致,表面光滑无缺陷,面与面的相交处要有圆角过渡,以免扭裂。扭转工序主要应用于锻造曲轴、麻花钻、地脚螺栓等。

7) 错移

错移是将坯料的一部分轴线相对于另一部分轴线平行错开的工序,用于锻造曲轴类零件。注意,错移前应先在错移部位压肩,错移后还要进行修整。

2. 辅助工序

自由锻辅助工序是指坯料预先产生少量变形以方便后续加工的工序,如倒棱、压钳口、压肩等,如图 4.28 所示。

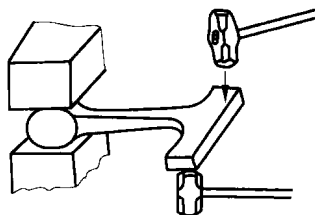


图 4.27 扭转

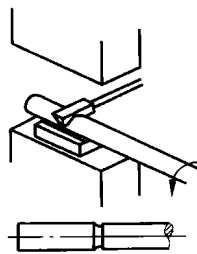


图 4.28 压肩

3. 精整工序

精整工序是指为进一步修整锻件的形状和尺寸,消除表面凸凹不平,矫正弯曲和扭转等缺陷的工序,如滚圆、捧圆、平整、校直等。

4.3.3 典型自由锻锻件生产工艺实例

1. 齿轮锻件的自由锻工艺过程(见表 4.2)

表 4.2 齿轮锻件的自由锻工艺过程

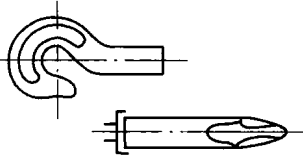
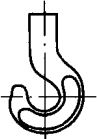
锻 件 名 称		齿 轮	工 艺 类 别	自 由 锻
材 料		45	设 备	1 t 锤
加 热 火 次		1	锻 造 温 度 范 围 /℃	1200~800
锻 件 图			坯 料 图	
序 号	工 序 名 称	工 艺 简 图	使 用 工 具	
1	局部锻粗		漏盘	
2	冲孔		冲子	
3	扩孔		冲子	
4	修整			

2. 吊钩锻件的自由锻工艺过程(见表 4.3)

表 4.3 5 t 吊钩锻件的自由锻工艺过程

锻件名称	5 t 吊钩	工艺类别	自由锻
材料	20	设备	1 t 锤
加热火次	3	锻造温度范围/℃	1200~800
锻件图		坯料图	

续表

序 号	工序名称	工 艺 简 图	使 用 工 具	操 作 要 点
7	拔长		钳子	锻出斜面
8	修整		钳子	修整锻件,使腔部与杆部的中心线一致

4.4 模锻与胎模锻

4.4.1 模锻

将坯料加热后放在上、下锻模的模膛内,施加冲击力或静压力,使坯料在模膛所限制的空间产生塑性变形,从而获得锻件的锻造方法称为模锻。

锻模如图 4.29 所示,由专用的模具钢加工制成,具有较高的红硬性、耐磨性和耐冲击性。模膛内所有与分模面相垂直的表面都有 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的模锻斜度,作用是利于锻件出模。并且所有面与面之间的交角都要加工成圆角,以利于金属充满模膛、防止应力过大使模膛开裂。模膛的边缘还设计有飞边槽,飞边槽由桥部与仓部两部分构成,如图 4.30 所示。桥部设计较浅,增大阻力,促进金属流动充满模膛;仓部可容纳下料时考虑烧损量及冲孔损失、估计误差所造成的多余金属。由于带孔的锻件不可能将孔直接锻出,因此要留有一定厚度的冲孔连皮。冲孔连皮与飞边可在锻件成形后切除。

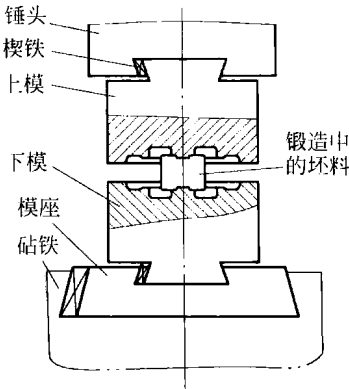


图 4.29 锻模

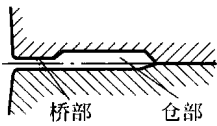


图 4.30 飞边槽

模锻可以在多种设备上进行。常用的模锻设备有蒸汽-空气模锻锤、曲柄压力机、摩擦压力机、平锻机、液压机等。其中在蒸汽-空气锤上的模锻应用最广,又称为锤上模锻。

模锻的生产率和锻件的精度比自由锻高,但模具制造成本高,周期长,锻锤的打击力要求高,因此模锻只适合于大批量生产。

4.4.2 胎模锻

胎模锻是介于自由锻和模锻之间的一种锻造方法,即在自由锻锤上用简单的模具生产锻件的一种常用的锻造方法。胎模锻时模具不固定在锤头或砧座上,根据锻造过程的需要,可以随时放在下砧铁上,或者取下。

胎模分为扣模、套筒模和合模,分别如图 4.31、图 4.32 和图 4.33 所示。

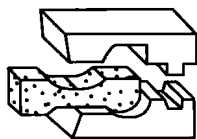


图 4.31 扣模

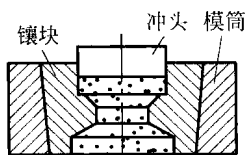


图 4.32 套筒模

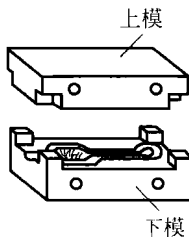


图 4.33 合模

胎模锻的模具制造简单方便,在自由锻锤上即可进行锻造,不需要模锻锤,在提高锻件精度与复杂程度的基础上,提高了生产效率,在中小批量的锻造生产中应用广泛。但由于劳动强度大,只适用于小型锻件的生产。

4.5 板料冲压

通过模具使板料产生分离或变形,从而获得一定形状、尺寸和性能的零件或毛坯的加工方法,称为板料冲压,分为冷冲压和热冲压(板料厚度大于 8 mm)。

4.5.1 板料冲压的特点和应用

板料冲压的特点:

- (1) 可生产形状复杂薄壁件;
- (2) 冲压件精度高、表面光洁、质量稳定、互换性好,不需进一步加工;
- (3) 冲压生产效率高。成本低,易实现机械化和自动化;
- (4) 冲压件具有质量轻、强度高、刚度大的显著特点;
- (5) 冲压用模具制造费用大、周期长,仅适用于大批量生产。

其应用范围非常广泛,特别适合于制造中空的杯状产品。

4.5.2 冲压设备

在冲压生产中,为了适应不同的工作情况,采用各种不同类型的压力机。根据传动方式、产生压力的方法、结构形式及使用性质不同,压力机主要有:曲柄压力机、摩擦压力机、多工位自动压力机、冲压液压机、冲模回转头压力机、高速压力机、精密冲裁压力机和电磁压力机等。其中曲柄压力机种类较多,可适用于一种或多种冲压工序,应用广泛。

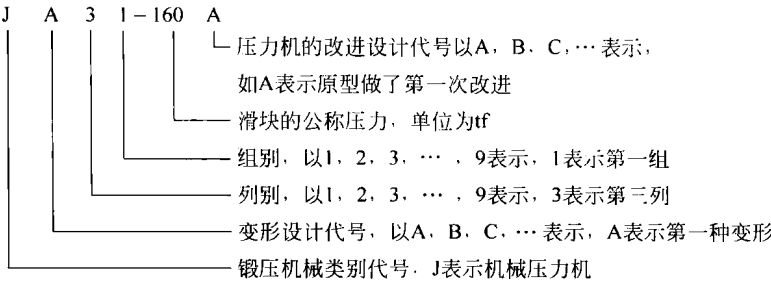
曲柄压力机又称冲床,常按用途和特点命名,有通用冲床、拉深冲床、专用冲床、精冲冲床、精压机和高速冲床。冲床型号根据有关标准分为一列 9 组,主要的列组如表 4.4 所示。

表 4.4 冲床主要列组

列 组	1	2	3	4	5	6
	单柱偏心 压力机	开式双柱 压力机	闭式曲轴 压力机	拉延 压力机	摩擦 压力机	专用 压力机
1	单柱固定台式	开式双柱台式	闭式单点压力机	闭式单动拉延压力机	圆盘式摩擦压力机	分度台压力机
2	单柱活动台式	开式双柱活动台式	闭式侧滑块压力机	—	单盘式摩擦压力机	冲模回转头压力机
3	单柱柱形台式	开式双柱可倾式	—	开式双动拉延压力机	双盘式摩擦压力机	—
4	单柱台式	开式转台式	—	底传动双动拉延机	三盘摩擦压力机	—
5	—	开式双点压力机	—	闭式双动拉延机	上移动式摩擦压力机	—
6	—	—	闭式双点压力机	闭式双点双动拉延机	—	—
7	—	—	—	闭式双点四动拉延机	—	—
8	—	—	—	闭式三动拉延机	—	—
9	—	—	闭式四点式	—	—	—

冲床的型号编排及各符号代表的意义举例如下

型号为 JA31-160A 型 160tf 闭式单点压力机,型号的意义为



4.5.3 板料冲压的基本工序

板料冲压的基本工序一般分为两大类：分离工序和成形工序。

1. 分离工序

(1) 冲裁 冲裁分为落料和冲孔。落料是将材料以封闭的轮廓分离开,得到平整的零件,剩余的部分为废料,如图 4.34 所示。冲孔是将零件内的材料以封闭的轮廓分离开,冲掉的部分是废料,如图 4.35 所示。

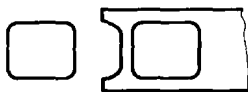


图 4.34 落料

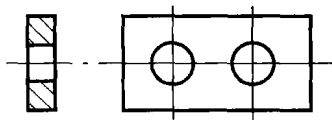


图 4.35 冲孔

(2) 剪切 将材料以敞开的轮廓分离,得到平整的零件,如图 4.36 所示。

(3) 切口 将零件以敞开的轮廓分离开,但仍保持为一个整体,而不是两部分,如图 4.37 所示。

(4) 切边 将平的、空心的或立体实心件多额外边切掉,如图 4.38 所示。



图 4.36 剪切

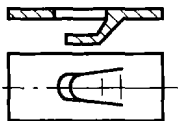


图 4.37 切口

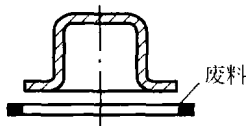


图 4.38 切边

2. 成形工序

(1) 拉深 将坯件压成任意形状的空心零件,或将其形状或尺寸作进一步改变,如减小坯件直径或壁厚等,如图 4.39 所示。

(2) 弯曲 使坯件一部分与另一部分形成一定角度。变形区仅限于曲率发生变化的部分,且内侧受压缩,外侧受拉伸,中间有一层材料既不被压缩也不被拉伸,称为中性层,如图 4.40 所示。

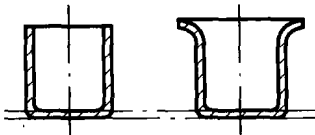


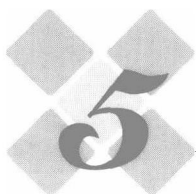
图 4.39 拉深



图 4.40 弯曲

复习思考题

1. 为什么锻压加工是机械制造中的重要工艺？与铸造相比它有哪些特点？
2. 如何衡量材料的锻造性能？常用材料中哪些材料锻造性能好？哪些锻造性能差？哪些材料不能锻造？
3. 金属坯料锻造前为什么要先加热？
4. 什么是锻造温度范围？为什么低于终锻温度以后不易继续锻造？
5. 锻造加热炉有哪些？各有哪些特点？
6. 为什么金属坯料加热温度不能高于始锻温度？
7. 加热缺陷对锻造过程和锻件质量有何影响？如何防止或消除？
8. 锻件锻造完成后有哪些冷却方式？各适用于哪些情况？
9. 什么是自由锻？可使用哪些设备？
10. 自由锻工具按用途可分为哪些种类？
11. 空气锤由哪几部分组成？其设备规格是如何规定的？
12. 自由锻基本工序有哪些？
13. 镦粗时，高径比过大，或锤击力不足会产生什么现象？如何纠正？
14. 局部镦粗时为便于取出锻件，漏盘应如何设计？
15. 试说明拔长时有哪些翻转方法，各适用于哪些场合？
16. 拔长时合适的送进量是多少？为什么？
17. 拔长时压下量的大小是如何规定的？为什么？
18. 冲孔的操作要点是什么？
19. 扩孔有哪些方法？
20. 切割时应注意哪些问题？
21. 扭转工序主要应用于哪些零件？
22. 锻模材料应具备哪些特点？
23. 模锻同自由锻相比，有何优越性？
24. 模锻圆角、模锻斜度和飞边槽的作用是什么？
25. 试叙述冲压的特点与适用范围。
26. 冲压设备有哪些？
27. JA31-160A 型冲床的意义是什么？
28. 冲压基本工序有哪些？
29. 冲压的主要质量问题是什么？如何防止？



焊 接

5.1 概 述

焊接是通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使焊件达到原子间结合的一种加工方法。

在工业生产中应用的焊接方法种类很多,根据焊接过程中金属所处的状态不同,可以把焊接分为熔化焊、压焊和钎焊三大类,具体分类如图 5.1 所示。

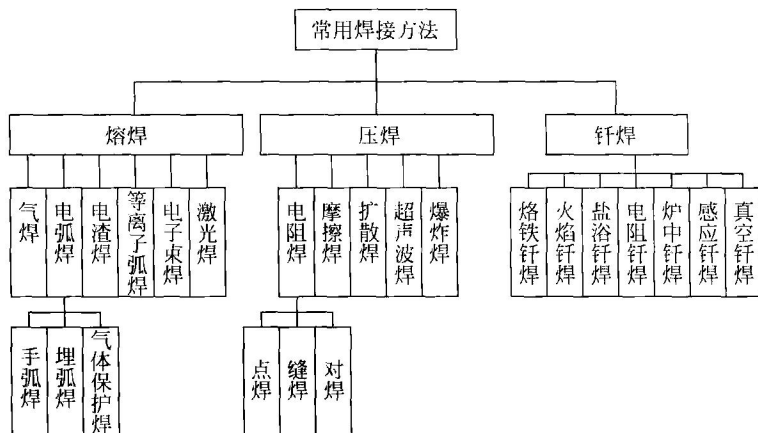


图 5.1 焊接方法分类

熔化焊：利用局部加热使连接处的母材金属熔化,加入(或不加入)填充金属而结合的方法,是工业生产中应用最广泛的焊接工艺方法。熔化焊的特点是焊件间的结合为原子结合,焊接接头的力学性能较高,生产率高;缺点是产生的应力、变形较大。

压焊：在焊接过程中,必须对焊件施加压力,加热或不加热完成焊接的方法。虽然压焊件焊缝结合亦为原子间结合,但其焊接接头的力学性能较熔化焊稍差,适合于小型金属件的加工,焊接变形极小,机械化、自动化程度高。

钎焊：采用熔点比母材金属低的金属材料作钎料,将焊件和钎料加热到高于钎料熔点、低于母材熔点温度,利用液态的钎料润湿母材,填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接焊件的方法。钎焊的特点是加热温度低,接头平整、光滑,外形美观,应力及变形小,但是钎焊接头强度较低,装配时对装配间隙要求高。

焊接作为一种不可拆卸的连接方法,已基本取代铆接成为连接成型的主要方法。焊接

生产的特点是节省材料,生产率高,适应性广,连接质量优良,同时易于实现机械化和自动化,并且可以以小拼大,以简拼繁,生产要求密封性的构件,特别适合于制造大型或结构复杂的构件,目前已广泛应用于各行各业,如航空航天、海洋工程、石油化工、电力、冶金、建筑、微电子等领域。

5.2 焊接工艺基础

1. 焊接接头

焊接时,被焊的工件材料称为母材(或基本金属),焊条、焊丝、焊剂和钎料称为焊接材料(或填充金属)。熔焊过程中,母材局部熔化与熔化的填充金属形成液态熔池,熔池金属冷却凝固后为焊缝。焊缝两侧某些区域母材金属由于受到焊接时加热和冷却的影响,会发生组织转变,导致力学性能发生变化,这部分区域称为热影响区。热影响区与焊缝的交接处称为熔合区。焊缝、熔合区、热影响区统称为焊接接头。如图 5.2 所示。

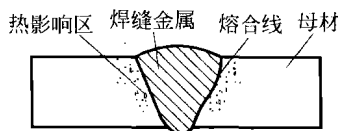


图 5.2 焊接接头

一个焊接结构是由若干个焊接接头组成的。焊接接头可分为对接接头、T 形接头、搭接头、角接头、十字接头、端接头、套管接头、斜对接接头、卷接接头和锁底对接接头 10 种,如图 5.3 所示。其中对接接头、T 形接头、搭接头、角接头是应用最广的 4 种接头。

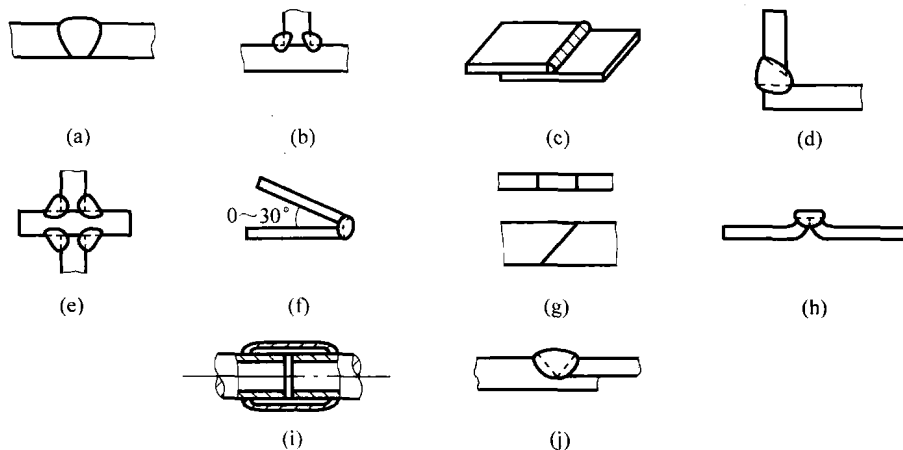


图 5.3 接头形式

(a) 对接接头; (b) T 形接头; (c) 搭接头; (d) 角接头; (e) 十字接头; (f) 端接头;
(g) 斜对接接头; (h) 卷接接头; (i) 套管接头; (j) 锁底对接接头

2. 焊接位置(见图 5.4)

(1) 平焊 平焊是在水平面上任何方向进行焊接的一种操作方法。由于焊缝处在水平位置,熔滴主要靠自重过渡,操作技术比较容易掌握,可以选用较大直径焊条和较大焊接电流,生产率高,因此在生产中应用较普遍。如果焊接工艺参数选择和操作不当,容易造成根

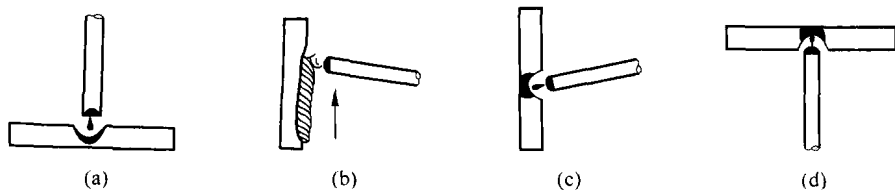


图 5.4 焊接位置

(a) 平焊位置; (b) 立焊位置; (c) 横焊位置; (d) 仰焊位置

部焊瘤或未焊透。

(2) 立焊 立焊是在垂直方向进行焊接的一种操作方法,由于受重力作用,焊条熔化所形成的熔滴及熔池金属要向下坠落,造成焊缝成形困难,影响质量。因此,立焊时选用的焊条直径和焊接电流均应小于平焊,并同时采用短弧施焊。

(3) 横焊 横焊是在垂直面上焊接水平焊缝的一种操作方法。由于熔化金属受重力作用,容易下淌而产生各种缺陷。因此,应采取短弧焊接,并选用较小直径焊条和较小焊接电流以及适当的运条方法。

(4) 仰焊 仰焊是焊缝位于燃烧电弧的上方而进行焊接的一种方式,即焊工在仰视位置进行焊接。仰焊劳动强度大,是最难焊的一种焊接位置。由于仰焊时,熔化金属在重力作用下容易坠落,熔池形状和大小不易控制,容易出现夹渣、未焊透、凹陷现象,运条困难,焊缝表面不易平整。焊接时,必须正确选用焊条直径和焊接电流,以便减少熔池的面积。尽量使用厚药皮焊条和维持最短的电弧,有利于熔滴在很短时间内过渡到熔池中,促使焊缝成形。

3. 坡口形式及尺寸

1) 坡口形式

当焊件较薄时,在焊件接头处只要留一定的间隙,就能保证焊透。焊件较厚时,根据设计或工艺需要,在两个焊件的待焊部位加工成一定的几何形状的沟槽叫坡口。

坡口的作用是保证了焊缝根部焊透,使焊接电源能深入接头根部,以保证接头质量;同时,还能起到调节基体金属与填充金属比例的作用。

坡口按形状,可分为 I 形、V 形、X 形、U 形、单边 V 形、K 形、双 U 形、J 形等,如图 5.5 所示。

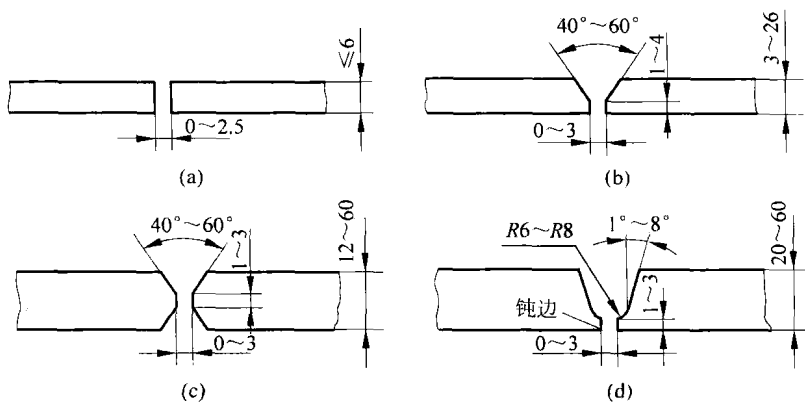


图 5.5 坡口形式及适用的焊接厚度

(a) I 形坡口; (b) V 形坡口; (c) X 形坡口; (d) U 形坡口

2) 坡口尺寸(见图 5.6)

根部间隙(b): 打底焊时, 为保证根部可以焊透, 焊接前在焊接接头根部之间预留的空隙。

钝边(P): 焊件开坡口时, 为防止焊缝根部焊穿, 沿焊件厚度方向未开坡口的端面部分。

坡口面: 焊件上的坡口表面。

坡口面角度(β)和坡口角度(α): 焊件表面的垂直面与坡口面之间的夹角叫坡口面角度; 两坡口面之间的夹角叫坡口角度。

4. 焊缝形式及尺寸

焊缝宽度(C): 焊缝表面与母材的交界处叫焊趾, 单道焊缝横截面中, 两焊趾之间的距离叫焊缝宽度。如图 5.7(a)所示。

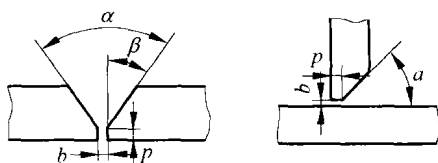


图 5.6 坡口尺寸

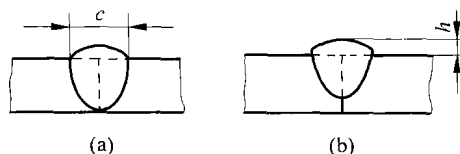


图 5.7 焊缝宽度和余高

余高(h): 对接焊缝中超出表面焊趾连线上方的那部分金属的高度。余高使焊缝的截面积增加, 强度提高, 并能增加 X 射线摄片的灵敏度, 但易使焊趾处产生应力集中。所以余高不能太高, 国家标准规定手弧焊的余高值为 $0 \sim 3 \text{ mm}$, 埋弧自动焊余高值取 $0 \sim 4 \text{ mm}$ 。如图 5.7(b)所示。

熔深(t): 母材熔化的深度。当填充金属材料一定时, 熔深决定焊缝的化学成分, 如图 5.8 所示。

焊缝厚度(s): 在焊缝横截面中, 从焊缝正面到焊缝背面的距离, 如图 5.9 所示。

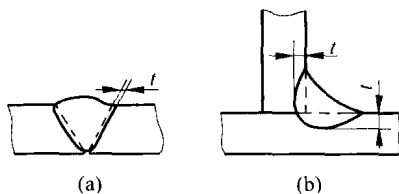


图 5.8 熔深

(a) 对接接头熔深; (b) T 形接头熔深

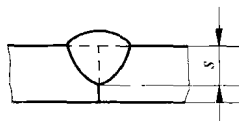


图 5.9 焊缝厚度

5. 焊接工艺参数

为保证焊接质量所选定的各物理量的总称叫焊接工艺参数。手弧焊的焊接工艺参数包括焊条直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度和焊接层数等。

(1) 焊接电流 其他工艺参数不变时, 增加焊接电流, 则焊缝厚度和余高都增加, 而焊缝宽度几乎保持不变。

焊接电流的选择应考虑焊条直径的大小。例如, 焊接低碳钢时, 可根据下面的经验公式

选择焊接电流:

$$I = (30 \sim 55)d$$

其中, I 为焊接电流, A; d 为焊条直径, mm。

焊条直径的选择依据是焊件厚度。多层焊的第一层焊缝和在非水平位置施焊时, 应采用直径较小的焊条。

需要注意的是, 电流强度是决定焊缝厚度的主要因素, 在实际生产中, 还要根据焊件厚度、接头形式、焊接位置、焊条种类等因素, 通过试焊来调整 and 确定焊接电流的具体取值。

(2) 电弧电压 其他工艺参数不变时, 电弧电压增大, 焊缝宽度显著增加而焊缝厚度和余高有所减少。

电弧电压由电弧长度决定, 是影响焊缝宽度的主要因素。电弧长, 电弧电压高; 电弧短, 电弧电压低。电弧过长时, 燃烧不稳定, 熔深减小, 并且容易产生焊接缺陷。因此, 焊接时必须采用短电弧, 一般要求电弧长度不超过焊条直径。

(3) 焊接速度 焊接速度是单位时间内完成的焊缝长度。焊接速度增加时, 焊缝厚度和焊缝宽度都明显下降。这是因为焊接速度增加时, 焊缝中单位时间内输入的热量减少了。

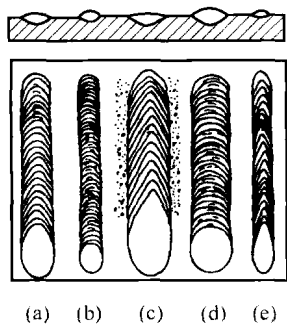


图 5.10 焊缝

手弧焊时, 焊接速度由焊工凭经验掌握。

总之, 焊接工艺参数选择是否合适, 直接影响焊接质量。如图 5.10 所示, 通过焊缝成形情况分析可大概判断焊接工艺参数选择合适与否。

如图 5.10(a)所示: 焊接电流和焊接速度合适时, 焊缝外形尺寸符合要求, 形状规则, 焊波均匀并呈椭圆形, 焊缝到母材过渡平滑。

如图 5.10(b)所示: 焊接电流太小时, 电弧不易引出, 燃烧不稳定, 焊波呈圆形, 而且余高增大, 熔宽和熔深都减小。

如图 5.10(c)所示: 焊接电流太大时, 弧声强、飞溅增多, 焊条往往变得红热, 焊波变尖, 熔宽和熔深增加, 焊薄板时, 有烧穿的可能。

如图 5.10(d)所示: 焊接速度太慢时, 焊波变圆而且余高、熔宽和熔深增加, 焊薄板时, 有烧穿的可能。

如图 5.10(e)所示: 焊接速度太快时, 焊波变尖, 焊缝形状不规则而且余高、熔宽和熔深都减小。

5.3 常用焊接材料

1. 电焊条(electrode)

手弧焊时所用的涂敷药皮的熔化电极就是电焊条, 由焊芯及药皮两部分组成, 如图 5.11 所示。

1) 焊芯

焊芯是焊条内的金属丝, 它具有一定的直径和长度。焊接时焊芯有两个作用: 一是作为电极传导电流, 产生电弧; 二是熔化后作为填充金属, 与熔化的母材一起组成焊缝金属。

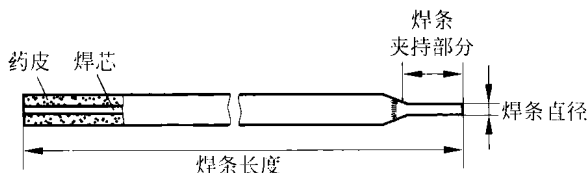


图 5.11 焊条结构

焊条的直径和长度就是以焊芯的直径和长度来表示的,常用的焊条直径有 $\phi 2$ 、 $\phi 2.5$ 、 $\phi 3.2$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ 等几种。

如果焊芯外面没有涂敷药皮,则称为焊丝。焊芯和焊丝牌号用“H”,即“焊”字的汉语拼音的第一个字母表示,其后的牌号表示方法与钢号表示方法相同,按国家标准规定的焊接用钢丝有 44 种,可分为碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢三大类。

2) 药皮

药皮是压涂在焊芯表面上的涂料层,由矿石粉、铁合金粉、黏结剂等原料按一定比例配制而成。药皮的主要作用是:使电弧容易引燃,保持电弧燃烧的稳定性;使熔滴向熔池顺利过渡,减少飞溅和热量损失,改善焊接工艺性,提高生产率;药皮内的造气剂、造渣剂可与熔池金属互相发生作用,产生大量气体与熔渣,隔离空气,对液态金属起渣气联合保护作用;另外,药皮内加入一定量合金元素,通过冶金反应去除有害杂质(O、H、N、S、P 等),同时添加有益的合金元素,使焊缝达到要求的力学性能。

3) 焊条的分类

按焊条的用途分类,可分为碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条、特殊用途焊条共 9 种。

按焊条药皮熔化后的熔渣特性可分为酸性焊条与碱性焊条。酸性焊条脱氧、脱硫磷能力低,热裂倾向大;但其焊接工艺性较好,对弧长、铁锈不敏感,焊缝成形性好,脱渣性好,广泛用于一般结构。碱性焊条脱氧完全,合金过渡容易,能有效地降低焊缝中的氢、氧、硫、磷,所以其焊缝的力学性能和抗裂性能比酸性焊条好,但其焊接工艺性较差;引弧困难,电弧稳定性差,飞溅较大,不易脱渣,必须采用短弧焊,适用于合金钢和重要碳钢的焊接。

4) 焊条的牌号与型号

焊条牌号是焊条行业统一的焊条代号,一般用一个大写拼音字母和三个数字表示,如 J422、J507 等。拼音字母表示焊条的大类,如“J”表示结构钢焊条,“A”表示奥氏体焊条等;前两位数字表示焊缝金属抗拉强度的十分之一,单位是 MPa;最后一位数字表示药皮类型和电流种类,其中 1~5 为酸性焊条,6、7 为碱性焊条,如最后一位数字为 2,则表示药皮类型是钛钙型,可使用交、直流两种电源。

焊条型号是国家标准中的焊条代号,如 GB 5117—1985 等中的 E4303、E5015、E5016 等。其中“E”表示焊条;前两位数字表示焊缝金属的抗拉强度的十分之一,单位为 MPa;第三位数字表示焊条的焊接位置;第三和第四位数字组合表示焊接电流的种类和药皮类型,如“03”表示钛钙型药皮,交流或直流正、反接。

5) 焊条的选用原则

等强度原则:对于承受静载荷或一般载荷的工件或结构,通常选用抗拉强度与母材相等的焊条。

同等性能原则：在特殊环境下工作的结构，如要求耐磨、耐腐蚀、耐高温或低温等，具有较高的力学性能，则应选用能保证熔敷金属的性能与母材相近或相似的焊条。如焊接不锈钢时，应选用不锈钢焊条。

等条件原则：根据工件或焊接结构的工作条件和特点选择焊条。如焊件要求承受冲击载荷，应选用熔敷金属冲击韧性较高的低氢型碱性焊条。

2. 焊剂

埋弧焊时，能够熔化形成熔渣和气体，对熔化金属起保护作用并进行复杂冶金反应的一种颗粒状物质叫焊剂，其所起作用相当于焊条上的药皮。焊剂分为熔炼焊剂、烧结焊剂和黏结焊剂三类。熔炼焊剂的主要优点是化学成分均匀，可以获得性能均匀的焊缝，是目前生产中使用最广泛的一种焊剂。后两种焊剂属于非熔炼焊剂，化学成分不均匀，可造成焊缝性能不均匀，但可以在焊剂中添加铁合金，增大焊缝金属合金化，目前这两种焊剂在生产中应用还不广。

5.4 熔焊方法

5.4.1 手工电弧焊

手工电弧焊是利用电弧产生的热量来熔化母材和焊条的一种手工操作的焊接方法，适用于厚度在 2 mm 以上多种金属材料和各种形状结构的焊接。

1. 手工电弧焊的焊接过程

焊接前，将焊钳和焊件分别连接弧焊机输出端的两极，并用焊钳夹持焊条。焊接时，首先在焊件和焊条之间引出电弧，电弧同时将焊件和焊条熔化，形成金属熔池。随着电弧沿焊接方向前移，熔化金属迅速冷却凝固形成焊缝，使两焊件牢固地连接在一起。如图 5.12 所示。

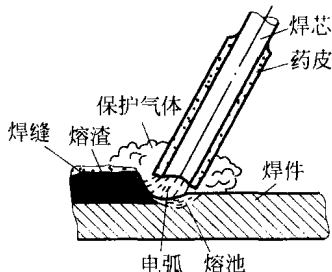


图 5.12 手工电弧焊焊接过程

2. 对接平焊焊接基本操作技术

(1) 备料 厚 3~4 mm 低碳钢钢板两块，校直钢板，保证接口处平整。

(2) 清理 在焊件连接处 20 mm 范围内，清除铁锈、油污、水分等。

(3) 组对 将两块钢板水平对齐放置，间隙为 1~2 mm。

(4) 练习引弧 就是使焊条和焊件之间产生稳定的电弧。引弧时，首先将焊条末端与焊件表面接触形成短路，然后迅速将焊条向上提起 2~4 mm 的距离，电弧即引燃。引弧方法有敲击法(见图 5.13)和摩擦法(见图 5.14)两种。

(5) 点焊 其主要目的是定位，固定两块钢板的相对位置，焊后清渣。若焊件较长，可每隔一定距离焊接一定长度的焊缝。

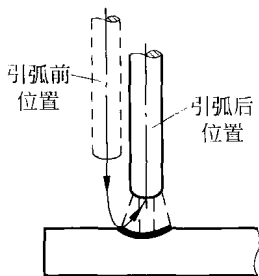


图 5.13 敲击法

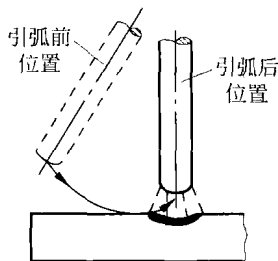


图 5.14 摩擦法

(6) 焊接 就是在平焊位置上堆焊焊缝。操作关键是掌握好焊条角度(如图 5.15 所示)和运条基本动作(如图 5.16 所示),保持合适的电弧长度(即向下送进焊条速度合适)和均匀的焊接速度。

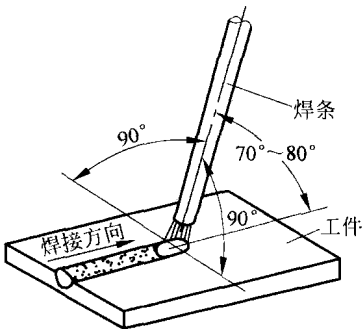


图 5.15 焊条角度

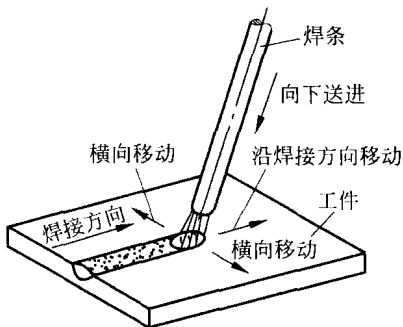


图 5.16 运条基本动作

在焊接操作中,应注意保持电弧的长度,电弧的长度大约等于焊条的直径;同时焊条与焊缝平面两侧的夹角应保持相等;焊条的送进速度要均匀。

运条方法有几种(如图 5.17 所示),焊薄板时,焊条可作直线移动;焊厚板时,焊条在作直线移动的同时,还要有横向移动,以保证得到一定的熔宽和熔深。

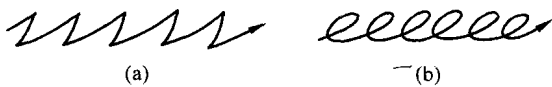


图 5.17 运条方法

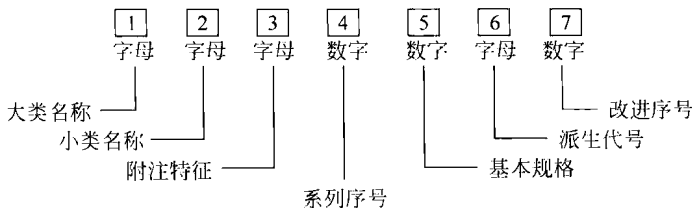
(a) 锯齿形运条法; (b) 圈形运条法

- (7) 焊后清理 清除渣壳及飞溅。
- (8) 检查焊缝质量 检查焊缝外形和尺寸是否符合要求,有无焊接缺陷。

3. 手工电弧焊焊接设备

手弧焊机按其供给的焊接电流种类不同分为交流弧焊机和直流弧焊机两类。交流弧焊机又称为弧焊变压器,弧焊变压器是一种具有下降外特性的降压变压器,有分体式弧焊机、同体式弧焊机、动铁漏磁式弧焊机、动圈式弧焊机和抽头式弧焊机等类型。直流弧焊机分为直流弧焊发电机和弧焊整流器。

我国焊机型号是按统一规定编制的,焊机型号采用汉语拼音字母及阿拉伯数字组成,其编排次序如下:



如: BX1-500, B表示弧焊变压器, X表示下降外特性, 1表示动铁芯式, 500表示额定焊接电流为500 A。

手弧焊机的主要技术参数通常表明在焊机的铭牌上,主要有初级电压、空载电压、工作电压、输入容量、电流调节范围和负载持续率等。

直流弧焊机输出端有正、负极之分,焊接时电弧两端极性不变。弧焊机正、负两极与焊条、焊件有两种不同的接线法:将焊件接到弧焊机正极,焊条接至负极,这种接法称正接;反之,将焊件接到负极,焊条接至正极,称为反接。焊接厚板时,一般采用直流正接,这是因为电弧正极的温度和热量比负极高,采用正接能获得较大的熔深。焊接薄板时,为了防止烧穿,常采用反接。但如果使用碱性焊条,均采用直流反接。

4. 手工电弧焊的工艺特点

手工电弧焊具有许多优点,其工艺灵活、适应性强,适用于碳钢、低合金钢、耐热钢、低温钢和不锈钢等各种材料的平、立、横、仰各种位置以及不同厚度、不同结构形状的焊接。与气焊和埋弧焊相比,金相组织细小、热影响区小、焊接接头性能好;易于通过工艺调整来控制变形和改善应力,且设备简单、操作方便。

但手工电弧焊对焊工要求高,焊工的操作技术和经验直接影响产品质量的好坏。在焊接作业中,需要承受高温烘烤及毒、烟、尘和金属蒸气的危害,劳动条件差,生产效率低。

5. 手工电弧焊的工艺参数

(1) 焊条种类和牌号的选择 主要依据母材的性能、接头的刚性和工作条件选择焊条。焊接一般碳钢和低合金钢主要是按等强度原则选择焊条的强度级别,对一般结构选用酸性焊条,重要结构选用碱性焊条。

(2) 焊接电源种类和极性的选择 手弧焊时采用的电源有交流和直流两大类,根据焊条的性质进行选择。通常,酸性焊条可同时采用交、直流两种电源,一般优先选用交流弧焊机,采用直流电源时,通常采用正接(如图5.18所示)。碱性焊条由于电弧稳定性差,所以必须使用直流弧焊机,常采用反接(如图5.19所示)。对药皮中含有较多稳弧剂的焊条,可使

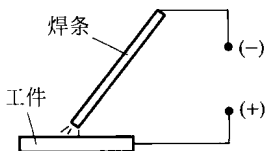


图 5.18 正接法

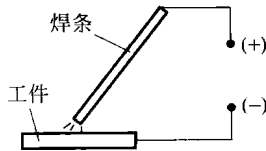


图 5.19 反接法

用交流弧焊机,但电源的空载电压应较高些。

(3) 焊条直径 根据焊件的厚度进行选择。厚度越大,焊条直径应越粗。另外,还要综合考虑接头形式、焊缝空间位置等。

(4) 电弧电压 手弧焊时,电弧电压主要决定弧长。电弧长,电弧电压高。在焊接时应使弧长始终保持一致,并尽可能采用短弧焊接(弧长不超过焊条直径的 0.5~1 倍)。

5.4.2 气焊

1. 气焊用焊接材料

(1) 氧气 气焊和气割的助燃气体,其纯度直接影响气焊和气割的质量与效率。目前大中型企业焊割时,氧气主要由管道输送或由氧气瓶提供。

(2) 乙炔 易燃、易爆气体,自燃点为 480°C ,空气中着火温度为 428°C ,工业乙炔是通过电石与水反应获得的。

(3) 气焊丝 气焊丝的化学成分直接影响焊缝金属的性能,常用的气焊丝种类有碳素结构钢用焊丝、合金结构钢用焊丝、不锈钢用焊丝、铸铁用焊丝、铜及铜合金用焊丝、铝及铝合金用焊丝、镁合金用焊丝。有时无法获得与工件相当成分的焊丝时,可采用剪切工件来代替。

(4) 气焊熔剂 具有很强的反应能力,可迅速溶解某些氧化物或高熔点化合物,改善润湿性。常用的气焊熔剂有气剂 101(用于不锈钢和耐热钢气焊)、气剂 201(用于铸铁气焊)、气剂 301(用于铜气焊)、气剂 401(用于铝气焊)。

2. 气焊设备

(1) 氧气瓶 储存和运输氧气的高压容器,由瓶体、瓶箍、瓶阀、防振圈、瓶帽、底座等构成。氧气瓶外表漆成天蓝色,并表明黑色“氧气”字样。其容积为 40 L、工作压力为 15 MPa,可内存常压下 6 m^3 氧气。氧气瓶应直立使用,若躺放时必须使减压器处于最高位置,操作时氧气瓶应距离乙炔发生器、明火或热源不小于 5 m。

(2) 乙炔瓶 储存和运输乙炔的容器,由瓶体、瓶阀、硅酸钙填料、易熔塞、过滤网、瓶帽、瓶座等构成。乙炔瓶外表漆成白色,并标明红色“乙炔”、“不可近火”等字样。其容积为 40 L、工作压力为 15 MPa,可内存常压下 $5.3\sim 6.3\text{ m}^3$ 乙炔气。乙炔瓶应直立使用,不得卧放,且卧放的乙炔瓶直立使用时,必须静置 20 min 后方可使用。

(3) 减压器 是将高压气体降为低压气体的调节装置,使输送给焊炬的气体压力稳定不变,以保证火焰能够稳定燃烧。对不同性质的气体,必须选用符合各自要求的专用减压器,各种气体专用的减压器,禁止换用或替用。减压器在专用气瓶上应安装牢固。

(4) 回火保险器 正常气焊时,火焰在焊炬的焊嘴外面燃烧,但当气体供应不足、焊嘴阻塞、焊嘴太热或焊嘴距离焊件太近时,火焰会沿乙炔管路往回燃烧。这种火焰进入喷嘴内逆向燃烧的现象称为回火。如果回火蔓延到乙炔发生器,就可能引起爆炸事故。回火保险器的作用就是截留回火气体,保证乙炔发生器的安全。

(5) 焊炬 又称焊枪,作用是用来控制气体混合比例、流量以及火焰结构,它是焊接的

主要工具。所以对焊炬的要求是能方便地调节氧与乙炔的比例和热量的大小,同时要求结构重量轻、安全可靠。焊炬按可燃气体与氧气混合的方式不同分为等压式(如图 5.20 所示)与射吸式(如图 5.21 所示)两种。

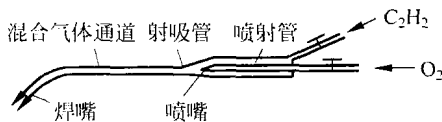


图 5.20 等压式焊炬

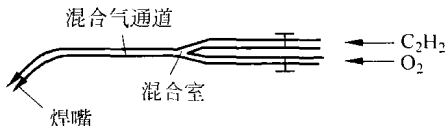


图 5.21 射吸式焊炬

3. 气焊火焰

改变氧气和乙炔的混合比例,可获得三种不同性质的火焰,如图 5.22 所示。

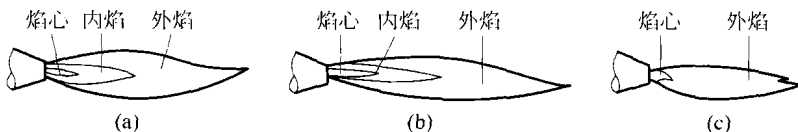


图 5.22 气焊火焰

(a) 中性焰；(b) 碳化焰；(c) 氧化焰

(1) 中性焰 如图 5.22(a)所示,氧气和乙炔的体积混合比为 1.1~1.2 时燃烧所形成的火焰称为中性焰,又称为正常焰。它由焰心、内焰和外焰三部分构成。中性焰在距离焰心前面 2~4 mm 处温度最高,可达 3150℃。中性焰适用于焊接低碳钢、中碳钢、普通低合金钢、不锈钢、紫铜、铝及铝合金等金属材料。

(2) 碳化焰 如图 5.22(b)所示,碳化焰是指氧和乙炔的体积混合比小于 1.1 时燃烧所形成的火焰。由于氧气较少,燃烧不完全,过量的乙炔分解为碳和氢,其中碳会渗到熔池中造成焊缝增碳。碳化焰比中性焰的火焰长,也由焰心、内焰和外焰构成,其明显特征是内焰呈乳白色。碳化焰最高温度为 2700~3000℃。碳化焰适用于焊接高碳钢、铸铁和硬质合金等材料。

(3) 氧化焰 如图 5.22(c)所示,氧和乙炔的体积混合比大于 1.2 时燃烧所形成的火焰称为氧化焰。氧化焰比中性焰短,分为焰心和外焰两部分。由于火焰中有过量的氧,故对熔池金属有强烈的氧化作用,一般气焊时不宜采用。只有在气焊黄铜、镀锌铁板时才采用轻微氧化焰,以利用其氧化性,在熔池表面形成一层氧化物薄膜,减少低沸点的锌蒸发。氧化焰的最高温度为 3100~3300℃。

4. 气焊工艺

(1) 焊丝直径的选择应根据焊件的厚度和坡口形式、焊接位置、火焰能率等因素来决定。焊丝直径过细容易造成未熔合和焊缝高低不平、宽窄不一;过粗容易使热影响区过热。

(2) 火焰性质应根据焊件材料的种类及性能来选择。火焰能率是以每小时可燃气体的消耗量来表示的,它主要取决于混合气体的流量。材料性能不同,选用的火焰能率就不同。焊接厚件、高熔点、导热性好的金属材料应选较大火焰能率,才能保证焊透,反之应小。在实

际生产中在确保焊接质量的前提下,为了提高生产率,应尽量选用较大的火焰能率。

(3) 焊嘴倾角是指焊嘴中心线与焊件平面之间的夹角。焊嘴倾角与焊件的熔点、厚度、导热性以及焊接位置有关。倾角越大,热量散失越少,升温越快。焊嘴倾角在气焊过程中是要经常改变的,起焊时大,结束时小。

(4) 焊接速度的快慢直接影响产品的质量与效率。通常焊件厚度大、熔点高则焊接速度应慢,以避免未熔合的缺陷;反之应快,以避免烧穿和过热。

5. 气焊基本操作技术

(1) 点火、调节火焰与灭火 点火时,先微开氧气阀门,再打开乙炔阀门,然后点燃火焰。这时的火焰为碳化焰。随后逐渐开大氧气阀门,将碳化焰调节成中性焰。同时按需要把火焰大小也调整合适。灭火时,应先关乙炔阀门,再关氧气阀门。

(2) 焊接 左手拿焊丝,右手拿焊炬,两手动作协调,沿焊缝向左或右焊接。焊嘴轴线的投影应与焊缝重合,同时要掌握好焊嘴与焊件的夹角。焊炬向前移动的速度应能保持焊件熔化并保持熔池具有一定的大小。焊件熔化形成熔池后,再将焊丝适量地点入熔池内熔化。

5.4.3 气体保护焊

用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊称为气体保护电弧焊,简称为气体保护焊,分为惰性气体保护焊和二氧化碳气体保护焊。惰性气体保护焊中使用最普遍的是氩弧焊。

1. 氩弧焊

以氩气作为保护气体的气体保护焊。按电极不同分为熔化极氩弧焊(如图 5.23 所示)和钨极(非熔化极)氩弧焊(如图 5.24 所示)两种。

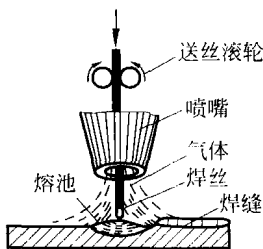


图 5.23 熔化极氩弧焊

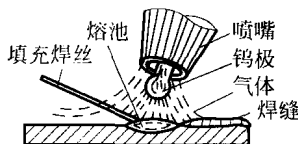


图 5.24 钨极氩弧焊

熔化极氩弧焊以连续送进的焊丝作为电极进行焊接,焊接过程可采用自动或半自动方式(焊丝送进采用机械控制,电弧移动由手工操作)。熔化极氩弧焊采用直流反接,使用电流强度较大,因此可焊接厚度为 25 mm 以下的工件。

钨极氩弧焊焊接过程可以手工进行,也可以自动进行。手工焊接时其操作与气焊相似,在钨极和焊件之间产生电弧,焊丝从一侧送入,在电弧热的作用下,焊丝与焊件熔化形成熔池,熔池金属冷却凝固后形成焊缝。整个焊接过程中,钨极不熔化,但有少量损耗。因此,焊接钢材时,多用直流电源正接,以减少钨极的烧损,所以适合焊接较薄的材料。若焊接

3 mm 以下的薄件时,常采用卷边接头直接熔合。若焊接铝、镁合金时,则希望用直流反接或交流电源,利用“阴极破碎”作用清除氧化物,同时减少钨极损耗。

氩弧焊适于焊接各类合金钢、易氧化的非铁金属及锆、钽、钼等稀有金属材料。其电弧燃烧稳定,飞溅小,焊缝致密,表面没有熔渣,成形美观。电弧在气流压缩下燃烧,热量集中、熔池小、焊接速度快、焊接热影响区窄、工件焊后变形小,容易实现全位置自动焊接。由于氩气价格较高,氩弧焊目前主要用于焊接铝、镁、钛及其合金,也用于焊接不锈钢、耐热钢和一部分重要的低合金结构钢焊件。

2. 二氧化碳气体保护焊

二氧化碳气体保护焊简称 CO_2 焊,是利用 CO_2 作为保护气体的电弧焊。采用可熔化的焊丝作电极,有自动和半自动焊接两种方式。

CO_2 焊的焊接设备主要有焊接电源(只能采用直流电源)、焊枪及送丝机构、供气装置、

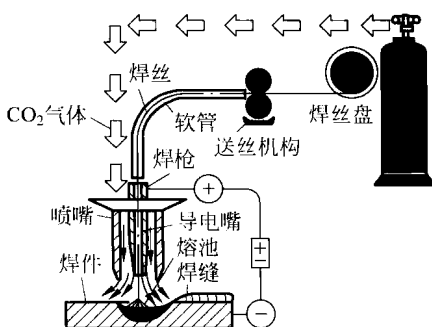


图 5.25 CO_2 焊的焊接设备

控制系统等部分,如图 5.25 所示。焊丝由送丝机构送入送丝软管,再经导电嘴送出。 CO_2 气体从焊炬喷嘴中以一定流量喷出。电弧引燃后,焊丝端部及熔池被 CO_2 气体所包围,能防止空气对高温金属的侵害。按照焊丝直径不同, CO_2 焊分为细丝 CO_2 焊和粗丝 CO_2 焊两类。细丝 CO_2 焊的焊丝直径为 0.6~1.2 mm,用于焊接 0.8~4 mm 的薄板;粗丝 CO_2 焊的焊丝直径为 1.6~5.0 mm,用于焊接板厚 3 mm 以上的焊件。实际生产中,直径大于 2.0 mm 的粗丝采用较少。

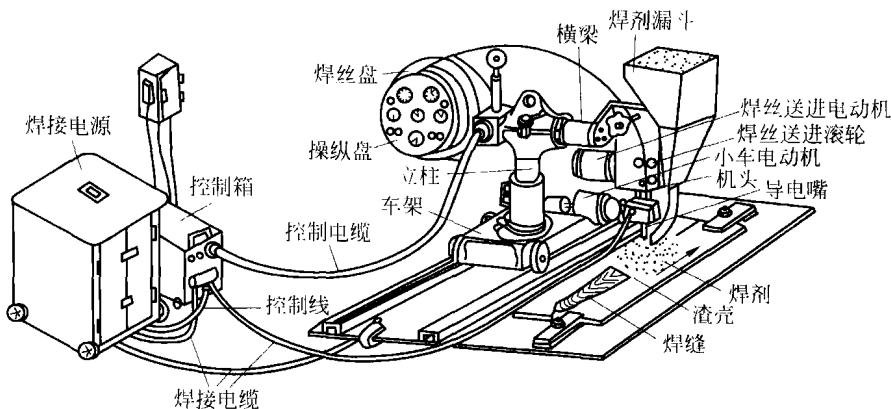
CO_2 焊适用于低碳钢和普通低合金钢的焊接。由于 CO_2 是一种氧化性气体,焊接过程中会使部分金属元素氧化烧损,所以它不适用于焊接高合金钢和有色金属。 CO_2 焊采用廉价的 CO_2 气体进行焊接,生产成本低;采用的电流密度大,生产率高;焊接薄板时,比气焊速度快,变形小;其操作灵活,适宜于进行各种位置的焊接;但焊接过程中飞溅大,焊接成形性差,焊接设备也比手弧焊机复杂。

5.4.4 埋弧自动焊

埋弧自动焊是电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法,电弧的引燃、焊丝的送进和电弧沿焊缝的移动,是由设备自动完成的。

埋弧自动焊设备由焊车、控制箱和焊接电源三部分组成,小车式埋弧焊机如图 5.26 所示。

埋弧自动焊焊接时,焊接机头上的送丝机构将焊丝送入电弧区并保持选定的弧长。电弧在颗粒状熔剂层下面燃烧,使焊丝、焊件熔化形成熔池。焊机带着焊丝均匀沿坡口移动,或者焊机机头不动,工件匀速运动,在焊丝前方,焊剂从漏斗中不断撒在被焊部位。电弧周围的焊剂被电弧熔化形成液态熔渣,使电弧和熔池与外界空气隔离。随着电弧不断前移,熔池后部开始冷却凝固形成焊缝,比重轻的熔渣冷却后形成渣壳。大部分没有熔化的焊剂可



重新回收使用。

埋弧自动焊焊丝和焊剂选配原则：根据母材金属的化学成分和力学性能，选择焊丝，再根据焊丝选配相应的焊剂。如：焊接 16 Mn 或 20，焊丝选 H08MnA(H08A)、焊剂选 HJ301(原 HJ431)。

埋弧自动焊保护效果好,没有飞溅,冶金反应充分,性能稳定,成形美观;其焊接电流大,热量集中,散失少,焊缝熔深大,焊接速度快,中小焊件可不开坡口,节省填充金属和电能;另外电弧在焊剂层下燃烧,弧光、有害气体对人体危害小。但是埋弧焊只适合水平位置焊接长直焊缝或具有较大直径的环焊缝,对气孔的敏感性大,不适合焊接厚度小于 1 mm 的薄板,难以焊接铝、钛等氧化性强的金属和合金。

5.5 现代先进的焊接方法

5.5.1 等离子弧焊接

等离子弧是经过压缩的高温(24 000~50 000 K)、高速(数倍于声速)、高能量密度($10^5 \sim 10^6 \text{ W/cm}^2$)的电弧。

等离子弧发生装置的原理如图 5.27 所示。在钨极和工件(正极)之间加一较高电压,经过高频振荡器的激发,使气体电离形成电弧,此电弧在通过具有特殊孔形的喷嘴时,受到机械压缩,称为机械压缩效应,使电弧截面积缩小;当向发生装置内通入一定压力和流量的气体后(如氮气、氩气、氦气等),电弧进一步受到压缩。这是因为高速流动的气体通入后,使弧柱外围受到强烈冷却,弧柱外围的电离度大大减弱,电弧电流只能从弧柱中心通过,这时电弧的电流密度急剧增加,即电弧被进一步压缩,这种作用

图 5.27 等离子弧发生装置

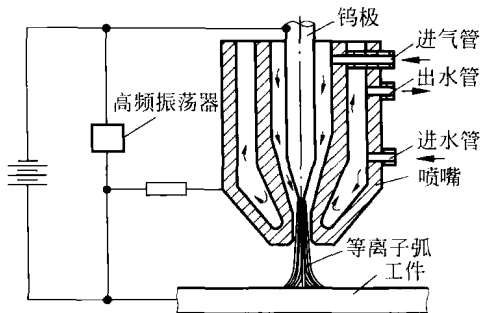


图 5.27 等离子弧发生装置

称为热收缩效应。另外,电弧内的带电粒子在弧柱内的运动,受其自身磁场所产生的电磁力的影响,结果使弧柱进一步被压缩,称为电磁收缩效应。在以上三种效应的作用下,弧柱内的气体得到了高度的电离,当压缩效应的作用与电弧内部的热扩散达到平衡后,这时的电弧便成为稳定的等离子弧。等离子弧是通过电弧压缩后得到的,故又称为压缩电弧。

等离子弧焊是利用特殊构造的焊炬所产生的高温、高电离度、高能量密度及高焰流速度的电弧来熔合金属的一种焊接方法。等离子弧焊应用于难熔、易氧化、热敏感性强的特种金属材料焊接,如 W、Mo、Be、Cu、Al、Ni、Ti 等难熔金属、不锈钢、超高强度钢。等离子弧焊是在钨极氩弧焊的基础上发展起来的一种新型焊接方法,其焊接示意如图 5.28 所示。同钨极氩弧焊不同的是,钨极氩弧焊焊炬内的电极伸出气体保护罩外,电弧是可见的,而且电弧不受压缩,呈圆锥形。而在等离子焊接的焊炬内,电极在压缩喷嘴以内,电弧被压缩成圆柱形。因此,等离子弧焊接有如下特点:能量密度大,温度高,弧流流速快,穿透力强,12 mm 以下焊件不开坡口,一次焊透,单面焊双面成形;钨极缩于喷嘴内,避免污染;热影响区小,变形小。当电流强度在 15 A 以下的等离子弧焊称为微束等离子弧焊。电流小到 0.1 A 时等离子弧仍很稳定,可以保持良好的电弧挺度和方向性,主要用于厚度为 0.01~1 mm 的箔材和薄板。

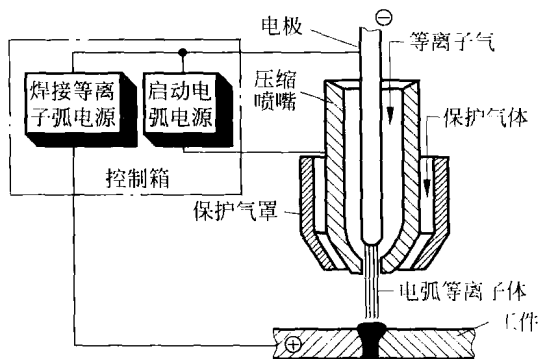


图 5.28 等离子弧焊

5.5.2 电子束焊

随着科学技术的发展,尤其是原子能和导弹技术的发展,大量应用了 Zr、Ti、Mo、Nb、Po、Ni,焊接这些稀有和难熔金属,用一般的气体保护焊不能得到满意的结果,而以电子束为能源的电子束焊可顺利解决上述金属的焊接问题。

电子束焊是利用高速、集中的电子束轰击焊件表面所产生的热量进行焊接的一种熔焊方法。按工作室的真空度不同,分为真空电子束焊(真空度在 666×10^{-1} Pa 以上)、低真空电子束焊(真空度为 1~13 Pa)和非真空电子束焊。由于真空电子束焊是在压强低于 10 Pa 的真空进行,易蒸发的金属及其合金和含气量较多的材料,会妨碍焊接过程的进行。因此,一般含 Zn 较高的铝合金(Al-Zn-Mg)、铜合金(黄铜)以及未脱氧处理的低碳钢,不能用真空电子束焊接。

电子束焊具有以下特点。

(1) 保护效果好,焊接质量高,真空进行。适于化学性质活泼、纯度高、易被大气污染的

金属,如 Al、Ti、Zr、Mo、Be、Ta、高强钢、高合金钢、不锈钢。

(2) 能量密度大,可焊难熔金属及厚大工件,如 Nb、Ta、W 等,板厚可达 200~300 mm。

(3) 焊接变形小。

(4) 不用填充焊丝,如要保证焊缝正面和背面有一定堆高时,可在焊缝上预加垫片。焊前必须严格除锈和清洗,不允许有残留有机物。对接缝隙约为 0.1 倍的板厚,不超过 0.2 mm。

(5) 工艺参数调节范围广,适应性强。可焊 0.1 mm 薄板,也可焊 200~300 mm 厚板;可焊难熔、易氧化金属,复合材料,异种材料及难以焊接的复杂形状件。设备复杂,造价高,尺寸受真空室限制,装配质量要求高,注意 X 射线防护。

5.5.3 激光焊接

激光是一种强度高、单色性好、方向性好的相干光,聚焦后的激光束能量密度极高,可达 10^{12} W/cm^2 ,在千分之几秒甚至更短的时间内,光能转变为热能,其温度可达 1 万度以上,极易熔化和汽化各种对激光有一定吸收能力的金属和非金属材料,可以用来焊接和切割。

产生激光的装置称为激光发生器,常用的有固体(红宝石、钕玻璃)和气体(CO_2 , He-Ne)两种,利用其受激辐射效应而产生激光。

激光焊分为连续激光焊和脉冲激光焊。

脉冲输出的红宝石激光器和钕玻璃激光器对电子工业和仪表工业微型焊件特别合适,可实现薄片(0.2 mm 以上)、薄膜(几微米到几十微米)、丝与丝(直径 0.02~0.2 mm)、密封缝焊和异种金属、异种材料的焊接。如集成电路的外引线的焊接;集成线路内引线(硅片上蒸镀有 1.8 厚的铝膜与 50 μm 厚的铝箔间)的焊接;零点几毫米的不锈钢、Cu、Ni、Ta 等金属丝的对接、重叠、十字接、T 形接;集成电路块、密封微型继电器、石英晶体等器件外壳、航空仪表零件的密封焊接;而连接输出的 CO_2 激光发生器适合于缝焊,可进行从薄板精密焊到 50 mm 厚板深穿入焊的各种焊接。激光焊设备如图 5.29 所示。

激光焊接具有以下特点。

(1) 能量密度大。适合于高速加工,能避免“热损伤”和焊接变形,故可进行精密零件、热敏感性材料的加工,在电子工业和仪表工业中的应用有广阔前途。

(2) 灵活性大。焊接时,焊接工件和焊接装置不需接触,通过偏转棱镜或光导纤维,可引导激光束到难以接近的部位进行焊接,且可穿透透明材料进行焊接,如真空管中电极的焊接。

(3) 激光辐射能量极其迅速。生产率高,被焊工件不易氧化,可在大气中焊接,不需真空环境和气体保护,可焊接各种金属和异种材料。

(4) 设备复杂,投资大,功率小,可焊接厚度受到一定限制,多用于薄板焊接。

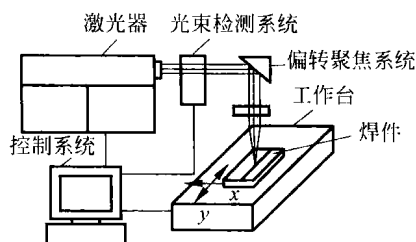


图 5.29 激光焊设备

5.6 切 割

5.6.1 等离子弧切割

利用等离子弧的高温将割件熔化,并借助弧焰的机械冲击力把熔融金属强制排除,从而形成割缝实现切割。等离子弧切割适用于高合金钢,铸铁,铜、铝、镍、钛及其合金,及现有的任何难熔金属和非金属,且切割速度快(每小时几十甚至上百米),热影响区小,切口窄,切割边质量高,厚度可达 150~200 mm。

5.6.2 激光切割

1. 激光汽化切割

利用激光束使材料局部在极短时间内被加热到沸点以上,并以蒸气形式逸出,形成割口,多用于极薄金属材料的切割。

2. 激光熔化切割

局部加热到熔化状态,并借助惰性气体将熔化物吹掉,形成割口。多用于非金属材料切割,如:纸、布、木材、塑料、橡胶、岩石、混凝土等,也用于不锈钢、易氧化的 Ti、Al 及其合金。

3. 激光燃烧切割

加热到燃点,喷射纯氧使金属连续燃烧,氧化物被氧气流吹走,形成割口。多用于金属材料的切割,如:碳钢,钛钢,不锈钢,双面涂塑钢板,非铁合金等。其特点为速度快、割缝窄、切割表面光洁、热影响区小。

5.7 焊接变形和焊接缺陷

1. 焊接变形

焊接过程中,焊接接头区域受不均匀的加热和冷却,而其周围的母材金属则对焊接接头产生一定的刚性约束。焊接加热时,焊接接头区域不能自由膨胀,焊后冷却过程又不能自由收缩,必然会产生焊接应力和焊接变形。在焊接结构生产中,焊接应力和焊接变形既同时存在,又相互制约。当结构约束度较小,焊接过程中能够比较自由地膨胀和收缩时,则焊接应力较小而焊接变形较大;反之,若结构约束度较大或外加较大刚性约束时,焊接过程中难以自由膨胀和收缩,则焊接变形较小而焊接应力较大。

焊接变形的基本形式有收缩变形、角变形、弯曲变形、扭曲变形和波浪形变形等,如图 5.30 所示。焊接变形降低了焊接结构的尺寸精度,严重的变形还会造成焊件的报废。在

实际生产过程中,可通过选择合适的焊接方法、选择合理的装配-焊接顺序、刚性固定、散热、反变形等方法控制焊接残余变形的产生。对于已经产生焊接变形的构件,可通过下列方法来矫正变形。

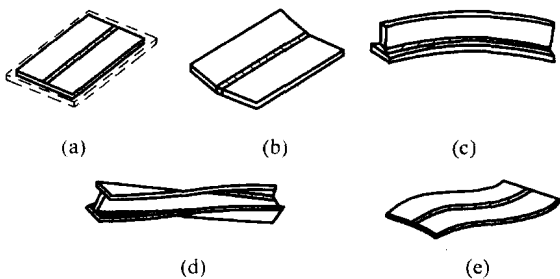


图 5.30 焊接变形的基本形式

(a) 收缩变形; (b) 角变形; (c) 弯曲变形; (d) 扭曲变形; (e) 波浪形变形

(1) 机械矫正,如图 5.31 所示。

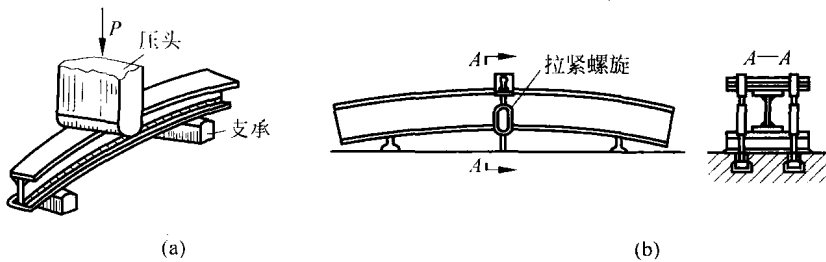


图 5.31 机械矫正方法

(a) 压力机矫正; (b) 拉紧螺旋矫正

(2) 火焰矫正,如图 5.32 示。

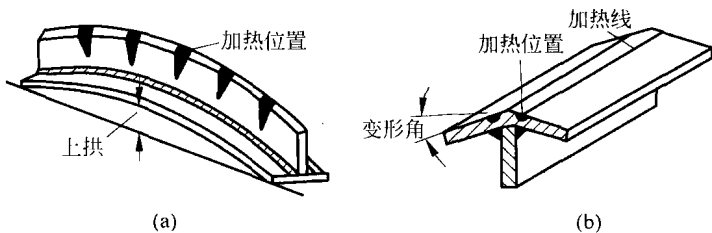


图 5.32 火焰矫正方法

(a) T形梁三角形加热矫正; (b) T形梁角变形的线装加热矫正

2. 焊接缺陷

常见的焊接缺陷按其在焊缝中的位置不同,可分为内部缺陷和外部缺陷两类。外部缺陷位于焊缝表面,用肉眼或低倍放大镜就可看到,如焊缝外形尺寸不符合要求、咬边、焊瘤、内凹、弧坑、表面气孔、表面裂纹及表面夹渣等。内部缺陷位于焊缝内部,必须经过无损探伤等方法才能发现,如焊缝内部的夹渣、未焊透、未熔合、气孔、裂纹等。

(1) 焊缝表面尺寸不符合要求 焊缝表面高低不平、焊缝宽窄不齐、尺寸过大或过小、角焊缝单边以及焊脚尺寸不符合要求,均属于焊缝表面尺寸不符合要求。产生的原因主要是焊件坡口角度不对,装配间隙不均匀,焊接速度不当或运条手法不正确,焊条和角度选择不当或改变等。

(2) 焊接裂纹 在焊接应力或焊接残余应力的作用下,或者焊材本身具有较大的淬硬倾向,以及焊缝中的有害杂质的含量较高等因素的影响,焊接接头局部地区的金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙。焊接裂纹的特征是具有尖锐的缺口和大的长宽比。

(3) 气孔 焊接时,熔池中的气泡在凝固时未能逸出,残存下来形成的空穴。

(4) 咬边 沿焊趾的母材部位产生的沟槽或凹陷,主要是焊接参数选择不当,或操作工艺不正确造成的。

(5) 未焊透 焊接时接头根部未完全熔透的现象。

(6) 未熔合 熔焊时,焊道与母材之间或焊道与焊道之间,未完全熔化结合的部分。主要是焊接电流太小,层间清渣不干净,焊条偏心,焊条摆动幅度太窄等因素造成的。

(7) 夹渣 焊后残留在焊缝中的熔渣。

(8) 焊瘤 焊接过程中,熔化金属流淌到焊缝之外未熔化的母材上,所形成的金属瘤。产生的主要原因是操作不熟练和运条角度不当。

(9) 塌陷 单面熔化焊时,由于焊接电流或装配间隙过大,造成焊缝金属过量透过背面,使焊缝正面塌陷、背面凸起的现象。

(10) 烧穿 焊接过程中,熔化金属自坡口背面流出,形成穿孔的缺陷。其产生原因是对焊件加热过甚。正确选择焊接电流和焊接速度,严格控制焊件的装配间隙,或采用衬垫、焊剂垫等方法可有效防止烧穿现象的产生。

5.8 焊接检验

1. 焊接接头破坏性检验方法

破坏性检验是从焊件或试件上切取试样,或以产品的整体破坏做试验,以检查其各种力学性能、抗腐蚀性能等的检验方法。

(1) 力学性能检验 力学性能检验就是采用材料、坡口形式、焊接工艺等均与产品的实际情况相符的焊接试板,对焊接试板进行拉伸、弯曲、冲击、硬度和疲劳等试验,以测定焊缝金属的抗拉强度、屈服强度、延伸率、断面收缩率、韧性及疲劳强度等力学性能指标。

(2) 金相检验 分为宏观检验和微观检验两种。宏观检验是在焊接试板上截取试样,经过刨削、打磨、抛光、侵蚀和吹干,用肉眼或低倍放大镜观察,检验焊缝的金属结构、未焊透、夹渣、气孔、裂纹、偏析等缺陷。微观检验是将试样的金相磨片在显微镜下观察以检验焊缝、热影响区、母材的金相组织和确定内部缺陷。

(3) 焊缝金属的化学分析 用直径为 6 mm 的钻头,从焊缝中或堆焊层上钻取 50~60 g

焊缝金属碎屑,检验焊缝的化学成分,必要时,需要分析焊缝中的氢、氧或氮的含量。

(4) 腐蚀试验 一般用于不锈钢焊件,确定其在给定条件下,金属抵抗腐蚀的能力,估计使用寿命,分析引起腐蚀的原因并找出防止方法。

(5) 焊接性试验 评定母材焊接性的试验叫焊接性试验。焊接性试验的种类和方法很多,如碳当量法、根部裂纹敏感性评定法、热影响区最高硬度法、小铁研法、刚性板约束法等。由于焊接裂纹是焊接接头中最危险的缺陷,所以用得最多的是焊接裂纹试验。通过焊接性试验,可以选择适合作母材的焊接材料;确定合适的焊接工艺参数,如确定焊接电流、焊接速度、预热温度等;研究和发展新型材料。

2. 焊接接头非破坏性检验方法

非破坏性检验又称无损检验,是指在不破坏被检查材料或成品的性能、完整性的条件下进行检测缺陷的方法。

(1) 外观检查 外观检查主要依据有关的国家标准、专业标准、产品技术条件以及考试规则等文件,用肉眼或不超过 30 倍的放大镜,借助量规、样板及专用测量工具,测定焊缝的外形尺寸和鉴定焊缝有无气孔、咬边、焊瘤、裂纹等表面缺陷,来判断焊接接头外表质量,是一种最简单而不可缺少的检查手段。

(2) 密封性检验 检查有无漏水、漏气和漏油等现象的试验,分为气密性试验和煤油渗漏检验。气密性试验是在容器内部通一定压力(远低于工作压力)的压缩空气,在焊缝外表面涂刷肥皂液,观察是否出现肥皂泡。煤油渗漏检验是在低压薄壁容器的焊缝一面涂上白垩粉水溶液,待干燥后,在另一面涂上煤油,在焊缝有穿透性缺陷时,干燥的白垩粉一面会形成明显的油斑或带条。

(3) 耐压检验 将水或油充入容器内缓慢加压,检查其是否泄漏、耐压或破坏等的试验,分为水压试验和气压试验。

(4) 磁粉探伤 磁粉探伤适合于发现薄壁工件、导管的表面裂纹、一定深度和一定大小的未焊透,但很难发现气孔、夹渣和隐藏较深的缺陷。按磁粉分类,磁粉探伤有干法和湿法两种。其原理是:将被检的铁磁工件放在较强的磁场中,磁力线通过工件时,形成封闭的磁力线。由于铁磁性材料的导磁能力很强,如果工件表面或近表面有裂纹、夹渣等缺陷存在时,将阻碍磁力线通过,磁力线不但会在工件内部产生弯曲,而且会有一部分磁力线绕过缺陷而暴露在空气中,产生磁漏现象。这个漏磁场能吸引磁铁粉,把磁铁粉集成与缺陷形状和长度相近似的迹象。其中,磁力线若垂直于裂纹时,显示最清楚。注意,经磁粉探伤过的工件有剩磁存在,必须采取去磁措施。

(5) 渗透探伤 渗透探伤是利用带有荧光染料或红色染料的渗透剂的渗透作用,显示缺陷痕迹的无损检验法。其中,荧光法适用于小型零件,着色法适用于大型非铁磁性材料的表面缺陷检验,其灵敏度较荧光检验高。

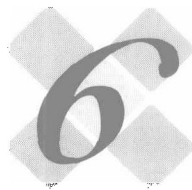
(6) 超声波探伤 超声波传播到两介质的分界面上时,能被反射回来,超声波探伤就是利用这一性质来检查焊缝中的缺陷。超声波在金属中可以传播很远(达 10 m),因此可探伤厚大工件;同时超声波在介质中的传播速度恒定不变,因此可进行缺陷的定位。但其判断缺陷类型和定位的准确性较差,最好与射线探伤配合使用,先超声波探伤,后射线探伤透视核实,检验效果更好。

(7) 射线探伤 X射线和 γ 射线能不同程度地透过金属材料,利用这种性能,当射线通过被检查的焊缝时,因焊缝内的缺陷对射线的吸收能力不同,使射线落在胶片上的强度不一样,胶片感光程度不一样,这样就能准确地显示缺陷的形状、位置和大小。X射线设备复杂,费用大,穿透能力比 γ 射线小;但透照时间短,速度快,适合于检查厚度小于30 mm工件。 γ 射线透照时间长,不宜于小于50 mm工件的透视,能透照厚板,透照时不需要电源,方便野外工作。

复习思考题

1. 根据焊接过程中金属所处的状态不同,把焊接分为哪三大类? 每类具体有哪些方法?
2. 何谓焊缝? 何谓焊接接头?
3. 常用焊接接头有哪些形式? 焊接位置有哪些?
4. 何谓坡口? 坡口的作用是什么? 坡口形式有哪些?
5. 名词解释: 余高、熔深、钝边、根部间隙、焊缝厚度、焊缝宽度、坡口面角度、坡口角度。
6. 什么是焊接工艺参数? 它包括哪些内容? 如何正确选择?
7. 当焊接电流太小或太大,焊接速度太快或太慢时,焊缝的余高、熔深和熔宽有何变化?
8. 焊条由哪两部分组成? 各有何作用?
9. 按用途分类,焊条有哪几类?
10. 酸性焊条与碱性焊条有何区别?
11. 什么是焊条的型号? 什么是焊条的牌号? 请举例说明。
12. 如何选择焊条?
13. 对接平焊焊接操作时有哪些步骤?
14. 如何引弧? 运条时有哪三个基本动作?
15. 焊机型号是如何编排的?
16. 弧焊机与焊条、焊件有哪两种不同的接线法? 如何选择?
17. 说明实习时,你所使用的焊机型号、焊条规格及焊接母材牌号与尺寸。
18. 简述气焊用材料及设备在使用过程中应注意哪些问题。
19. 氧气和乙炔的体积混合比分别为多少时可获得氧化焰、中性焰、乙炔焰? 三种火焰各适用于哪些材料的焊接?
20. 什么是气体保护焊? 有哪些具体方法?
21. 氩弧焊与 CO_2 焊有何异同?
22. 如何区别氧乙炔焰的种类?
23. 为什么等离子弧又称为压缩电弧?
24. 切割方法有哪些?
25. 常见的焊接缺陷有哪些? 如何检验?
26. 焊接接头非破坏检验方法有哪些?

切削加工的基本知识



6.1 切削加工概述

切削加工是使用切削工具(包括刀具、磨具和磨料),利用工具和工件的相对运动,从毛坯(铸件、锻件、条料等)上切去多余材料,以获得尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度完全符合图纸要求的机器零件的加工方法。

切削加工分为钳工和机械加工(简称机工)两大类。

钳工一般是通过人工手持工具进行切削加工的。钳工的劳动强度大、生产效率低,但是,钳工加工方式多种多样,使用的工具简单、方便灵活,在某些场合,钳工比机工更经济、更方便,是装配和修理工作中不可缺少的加工方法。钳工操作主要包括划线、錾切、锯、锉、刮、研磨、钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹、套扣等。

机械加工是通过操作金属切削机床进行的切削加工。它能够高效率地完成各种形状、各种精度的零件,例如圆柱、圆锥、孔、平面、螺纹、齿轮、沟槽等。常见的机械加工方法有车削、刨削、铣削、磨削、钻削等,所用的机床分别称为车床、刨床、铣床、磨床、钻床等。图 6.1 为几种加工方式的示意图。

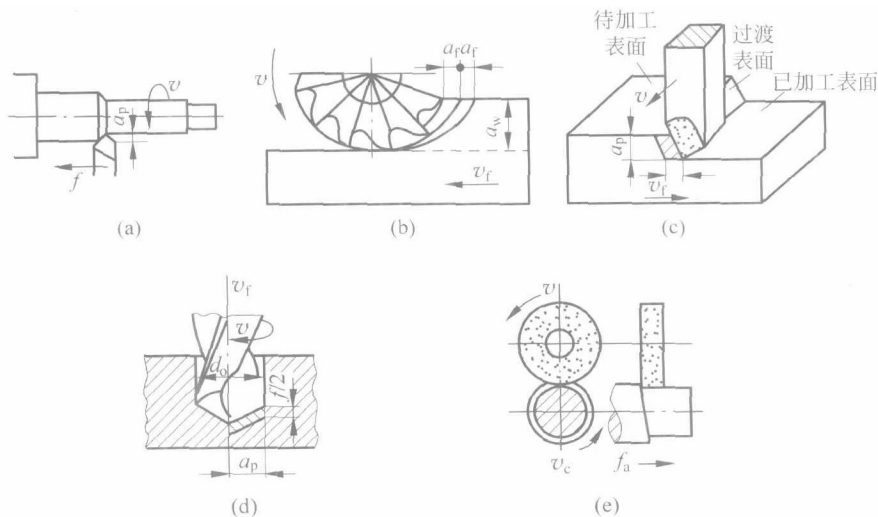


图 6.1 切削加工的种类

(a) 车外圆; (b) 周铣; (c) 刨削; (d) 钻孔; (e) 磨外圆

6.2 切削运动和切削用量

6.2.1 切削运动

在切削加工过程中,为了从工件上切下多余的材料,获得所需的表面,刀具与工件之间必须有一定的相对运动,即切削运动。切削运动分为主运动和进给运动。

(1) 主运动 使刀具与工件产生相对运动,以切除工件上多余材料的基本运动。其速度最高,消耗的功率也最多。每一种加工方法中只有一个主运动。例如车削时工件的旋转运动、磨削时砂轮的旋转运动、牛头刨床刨削时刨刀的往复直线运动都是主运动。

(2) 进给运动 不断地将多余材料层投入切削,以保证切削连续进行的运动。其速度较低,消耗的功率也较少。切削加工中进给运动可能是一个或几个,例如磨削外圆时就需要多个进给运动。

6.2.2 切削用量

在切削过程中,工件上形成三个变化着的表面。

待加工表面: 工件上待切除的表面。

过渡表面: 主切削刃正在切削的表面。

已加工表面: 经刀具切削后形成的表面。

以车外圆为例,如图 6.2 所示。

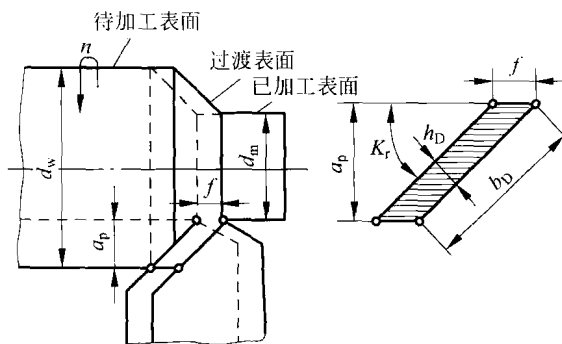


图 6.2 车削时的切削要素

切削用量是描述切削运动大小的参数。在一般的切削加工中,切削用量包括切削速度、进给量、背吃刀量三个要素。

1. 切削速度 v_c

切削速度是指在单位时间内,工件和刀具沿主运动方向的相对位移,单位为 m/s 或 m/min 。

当主运动为旋转运动时,则切削速度为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000 \times 60} (\text{m/s})$$

式中, d_w 为待加工表面的直径或刀具直径, mm; n 为工件或刀具的转速, r/min。

当主运动为往复直线运动时,则切削速度为

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000 \times 60} (\text{m/s})$$

式中, L 为往复直线运动的行程长度, mm; n_r 为主运动每分钟的往复次数, r/min。

2. 进给量 f

进给量是指在单位时间内或主运动的一个工作循环内,刀具与工件沿进给运动方向相对移动的距离。车削、钻削、铣削的主运动是旋转运动,工件或刀具每转一圈,为一个工作循环,进给量的单位为 mm/r。刨削的主运动是往复直线运动,每一往复(双行程)为一个工作循环,进给量的单位为 mm/r。铣削时常用的进给量为工件每分钟沿进给方向移动的距离,即进给速度 v_f (mm/min)、进给量 f (mm/r) 和每齿进给量 f_z (mm/z)。

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量又称切削深度,一般指工件待加工表面与已加工表面间的垂直距离。车削外圆时,背吃刀量为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} (\text{mm})$$

式中, d_w 为待加工表面直径, mm; d_m 为已加工表面直径, mm。

6.2.3 切削层参数

在各种切削加工中,刀具相对于工件进给运动方向每移动 f (mm/r 或 mm/z) 之后,一个刀具正在切削的材料层称为切削层。

切削层公称厚度为 $h_D = f \cdot \sin K_r$

切削层公称宽度为 $b_D = a_p / \sin K_r$

切削层公称横截面积为 $A_D = h_D \cdot b_D = f \cdot a_p$

6.3 刀具材料及刀具的几何形状

6.3.1 刀具材料

1. 对刀具材料的性能要求

刀具材料是指刀具上直接参与切削部分的材料。因它在切削过程中要承受高压、高温、摩擦、冲击和振动,所以刀具材料应具备以下基本性能。

- (1) 较高的硬度,在常温下一般应达到 60 HRC 以上。
- (2) 良好的耐磨性,以抵抗切削过程中的磨损,保持正确的刀具角度,维持一定的切削时间。
- (3) 良好的耐热性,又称红硬性或热硬性,指刀具材料在高温下仍然保持较高硬度、强度、韧性的性能。
- (4) 足够的强度和韧性,以承受切削力、冲击和振动。
- (5) 良好的工艺性,以便于制造各种刀具。工艺性包括锻造、轧制、焊接、切削加工、磨削加工和热处理性能等。

2. 常用刀具材料的性能和用途

1) 碳素工具钢

碳素工具钢是含碳量在 0.7%~1.2% 的优质或高级优质钢。淬火后常温硬度 60~65 HRC,价格较其他材料低廉,耐热性不好,耐热温度为 200~250℃,允许的切削速度 $v_c \leq 8 \text{ m/min}$ (0.13 m/s),热处理变形大,形状复杂的刀具易淬裂,用于制造切削速度低、形状简单的手工工具,如锉刀、锯条、刮刀等。常用的牌号有 T8、T8A、T10、T10A、T12、T12A 等。

2) 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢中加入 Cr、W、Mn、Si 等合金元素形成的。热处理变形小,淬透性好,淬火后硬度达 61~65 HRC,能够适应复杂形状刀具的要求,耐热温度达 300~400℃。常用制造低速切削刀具,如铰刀、丝锥、板牙等。常用的材料有 9SiCr、CrWMn 等。

3) 高速钢

高速钢又称白钢、锋钢,是含 W、Cr、Mo、V 等合金元素较多的高合金工具钢。高速钢具有较全面的优良性能,淬火硬度为 62~65 HRC,耐热性可达 600℃,允许的切削速度为 30~50 m/min (0.5~1.08 m/s),热处理变形小,刃磨性能较硬质合金好,广泛用于制造各种复杂的刀具,如钻头、铣刀、拉刀和齿轮刀具等。常用的牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。

4) 硬质合金

硬质合金是以高硬度、高熔点的金属碳化物(如碳化钨、碳化钛)为基体,以钴为结合剂,利用粉末冶金工艺制成的合金。其硬度可达 89~93 HRA(相当于 74~82 HRC),有较好的耐磨性和热硬性,耐热温度达 800~1000℃,允许的切削速度高达 100~300 m/min。但其抗弯强度低,冲击韧性差,工艺性能不如高速钢,刃口也不如高速钢锋利。通常制成各种形式的刀片,将其焊接或夹固在刀体上使用。

常用的硬质合金有钨钴合金和钨钛钴合金。

(1) 钨钴合金类 是由 WC 和 Co 组成的合金,它相对于钨钴钛合金来说,韧性较好,常用来加工脆性材料(如铸铁)或冲击性较大的工件。但由于它的热硬性不如钨钴钛类,一般不用于加工塑性材料,如碳钢。常用牌号有 YG3X(代号 K01)、YG6(代号 K20)、YG8(代号 K30)等。数字表示 Co 含量的质量百分数,钴含量越多,则强度、韧性越高,硬度、耐磨性越低,牌号后面加 X 的为细晶粒硬质合金。K30 用于粗加工,K20 和 K01 用于半精加工和精

加工。

(2) 钨钛钴合金类 是由 WC、TiC 和 Co 组成的合金。它的热硬性较好,在高温下比钨钴合金耐磨,常用来加工钢料或其他韧性较好的塑性材料。但因其脆性较大,不耐冲击,不宜加工脆性材料,如铸铁等。常用牌号有 YT5(代号 P30)、YT15(代号 P10)、YT30(代号 P01)等。数字表示 TiC 含量的质量百分数,数字大,表示 TiC 含量多,则硬度和耐磨性高,但抗弯强度和抗冲击韧性低。P30 用于粗加工,而 P10 和 P01 用于半精加工和精加工。

此外,对硬质合金进行改进,增添合金元素和细化晶粒。例如加入碳化钽(TaC)和碳化铌(NbC)形成万能硬质合金 YW1 和 YW2,既适于加工铸铁等脆性材料,又适于加工钢等塑性材料。还有在韧性较好的硬质合金(YG 类)基体表面,涂敷约 $5\ \mu\text{m}$ 厚的 TiC 或 TiN(氮化钛)或二者的复合,以提高其表层的耐磨性。

5) 其他刀具材料

(1) 陶瓷材料 它的主要成分是 Al_2O_3 , Al_2O_3 刀片硬度可达 86~96 HRA,耐 1200°C 高温,耐磨性好,允许用较高的切削速度,且价格低廉,原料丰富。我国制成的 AM、AMF、AMT、AMMC 等牌号的金属陶瓷,其成分除 Al_2O_3 外,还含有各种金属元素,抗弯强度比普通陶瓷刀片高。

(2) 人造金刚石 硬度极高,接近于 10 000 HV(硬质合金为 1300~1800 HV),耐热温度 $700\sim 800^\circ\text{C}$ 。可加工硬质合金、陶瓷、玻璃、有色金属及其合金等,但不宜加工铁族金属材料,其原因是铁和碳原子的亲和力较强,易产生黏结作用加快刀具磨损。

(3) 立方氮化硼 是人工合成的一种高硬度材料,硬度达 8000~9000 HV,耐热性 $1300\sim 1500^\circ\text{C}$,强度低,焊接性差,适用于半精加工和精加工高硬度、高强度的淬火钢及耐热钢,也可用于精加工有色金属。

6.3.2 刀具的几何形状

切削刀具的种类虽然很多,但它们切削部分的结构要素和几何角度有着许多共同的特征。各种多齿刀具或复杂刀具,就其一个刀齿而言,都相当于一把车刀的刀头。下面以车刀为例,分析和研究刀具的几何形状。

1. 车刀的组成

车刀由刀杆和刀头组成。刀杆是刀具的夹持部分,用来将车刀夹固在车床方刀架上;刀头是刀具上夹固和焊接刀条、刀片的部分,或由它形成切削刃的部分。车刀切削部分由三面、两刃、一尖组成,如图 6.3 所示。

前刀面 A_f 刀具上切屑流出时所经过的表面,一般指车刀的上面。

主后刀面 A_a 刀具上与工件加工表面(即过渡表面)相对的表面。

副后刀面 A'_a 刀具上与已加工表面相对的表面。

主切削刃 S 前刀面与主后刀面的交线,它担负主要的切削工作。

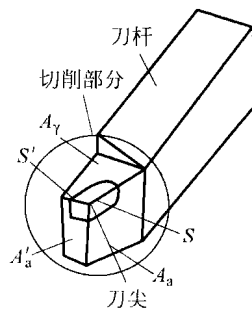


图 6.3 外圆车刀的组成

副切削刃 S' 前刀面与副后刀面的交线,它担负少量的切削工作。

刀尖 主切削刃与副切削刃的相交部分,通常磨成一小段过渡圆弧或直线。其目的是提高刀尖强度和改善散热条件。

2. 车刀的几何角度及其作用

1) 确定刀具角度的静止参考系

为了确定刀具角度的大小,必须建立一定的参考系。参考系由坐标平面,即常说的辅助平面构成,如图 6.4 所示。刀具静止参考系的主要坐标平面有基面 P_r 、切削平面 P_s 、正交平面 P_o 、假定工作平面 P_f 和背平面 P_p 等。

基面是通过切削刃上选定点且垂直于该点假定主运动方向的平面,用 P_r 表示。车刀的基面一般为水平面,即平行于车刀底面。

切削平面是通过切削刃上选定点且与切削刃相切,并垂直于基面的平面,用 P_s 表示。车刀的切削平面一般是铅垂面。

正交平面是通过切削刃上选定点并同时垂直于基面和切削平面的平面,用 P_o 表示。车刀的正交平面一般也是铅垂面。

假定工作平面(原称进给平面)是通过切削刃上选定点与基面垂直,且与假定进给方向平行的平面,用 P_f 表示。

背平面是通过切削刃上选定点并同时垂直于基面和假定工作平面的平面,用 P_p 表示。

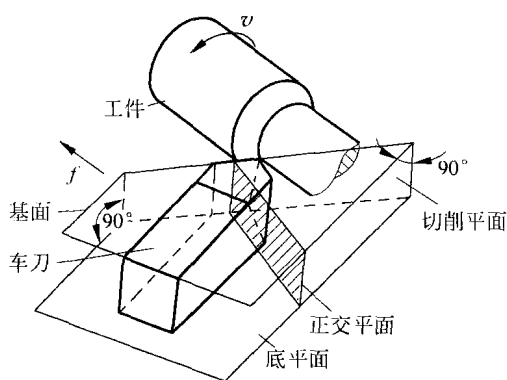


图 6.4 车刀的辅助平面

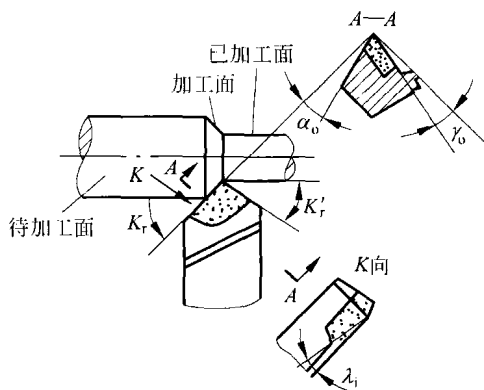


图 6.5 车刀的主要角度

2) 车刀的几何角度及其作用(如图 6.5 所示)

前角是前刀面与基面间的夹角,在正交平面中测量,用 γ_o 表示。前角的主要作用是使刃口锋利,切削轻快,同时影响切削刃的强度。常取 $\gamma_o = -5^\circ \sim 25^\circ$ 。

后角是主后刀面与切削平面间的夹角,在正交平面中测量,用 α_o 表示。后角的作用是减少刀具与工件之间的摩擦和磨损。常取 $\alpha_o = 4^\circ \sim 12^\circ$ 。

主偏角是切削平面与假定工作平面间的夹角,在基面内测量,用 K_r 表示。主偏角影响切削层截面的形状和几何参数,如图 6.6 所示,并和副偏角一起影响已加工表面粗糙度。同时主偏角的大小还影响背向力 F_y 与进给力 F_x 的比例以及刀具寿命,如图 6.7 所示。外圆车刀的主偏角通常有 90° 、 75° 、 60° 和 45° 等。当加工刚度较差的细长轴时,常取 $K_r = 90^\circ$ 或 75° 。

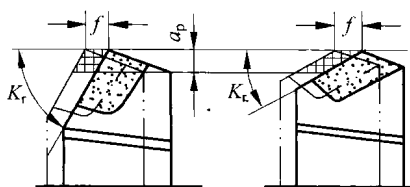


图 6.6 主偏角对切削层的影响

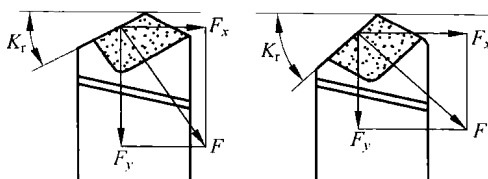


图 6.7 主偏角对切削分力的影响

副偏角是副切削平面与假定工作平面间的夹角,在基面内测量,用 K'_r 表示。副偏角的作用是减少副切削刃与工件已加工表面的摩擦,减少切削振动。副偏角的大小影响工件表面残余面积的大小,进而影响已加工表面的粗糙度 Ra 值,如图 6.8 所示。常取 $K'_r = 5^\circ \sim 15^\circ$ 。

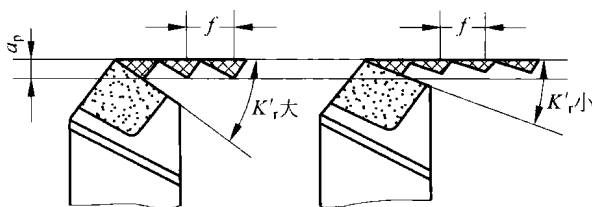


图 6.8 副偏角对残余面积的影响

刃倾角是主切削刃与基面间的夹角,在切削平面内测量,用 λ_s 表示。刃倾角的大小不仅影响刀尖的强度,而且影响切屑的流向,如图 6.9 所示。常取 $\lambda_s = -5^\circ \sim 5^\circ$ 。

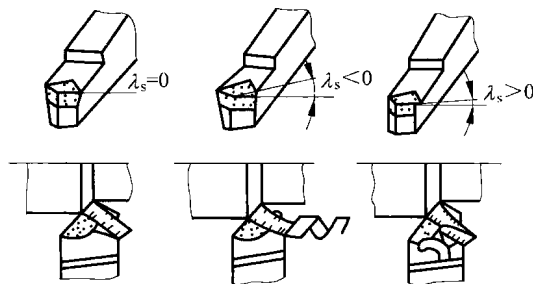


图 6.9 刃倾角对排屑方向的影响

3) 刀具的工作角度

刀具在切削过程中的实际切削角度,称为工作角度。实际加工时,由于切削用量的影响,有时由于加工的需要,甚至还由于安装的误差,致使刀具的实际角度与在静止参考系中得到的标注角度不一致。

车外圆时,在正常安装条件下,刀尖与工件回转轴线等高,刀柄纵向轴线垂直于进给方向。如图 6.10 所示,若刀尖高于工件的回转轴线,则工作前角 $\gamma_{pe} > \gamma_p$,而工作后角 $\alpha_{pe} < \alpha_p$;反之,若刀尖低于工件的回转轴线,则 $\gamma_{pe} < \gamma_p$,而 $\alpha_{pe} > \alpha_p$ 。

如图 6.11 所示,当车刀刀柄的纵向轴线与进给方向不垂直时,将会引起主偏角和副偏角发生变化。刀柄右倾安装,则 $K_{re} > K_r$,而 $K'_{re} < K'_r$;反之,刀柄左倾安装,则 $K_{re} < K_r$,而 $K'_{re} > K'_r$ 。

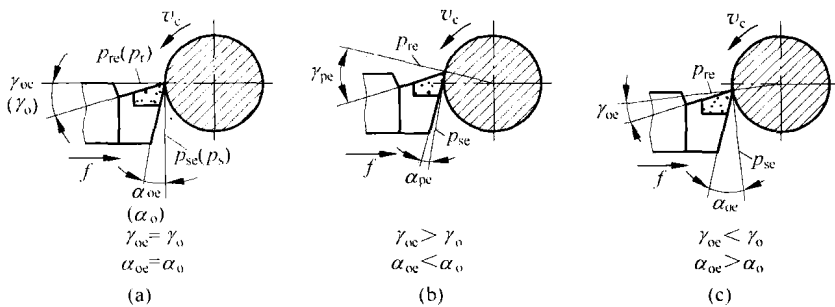


图 6.10 车刀安装高低对工作前角、后角的影响

(a) 刀尖与工件轴线等高；(b) 刀尖高于工件轴线；(c) 刀尖低于工件轴线

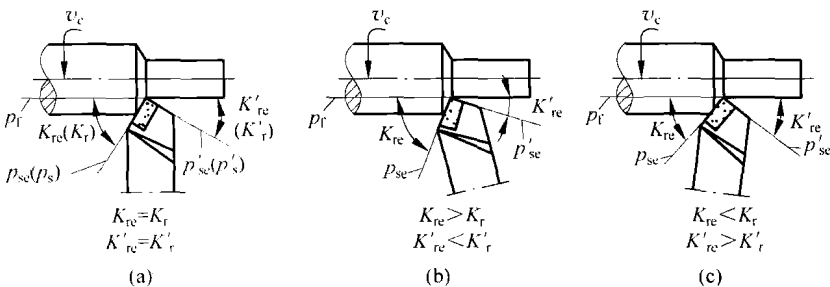


图 6.11 刀柄倾斜安装对工作主、副偏角的影响

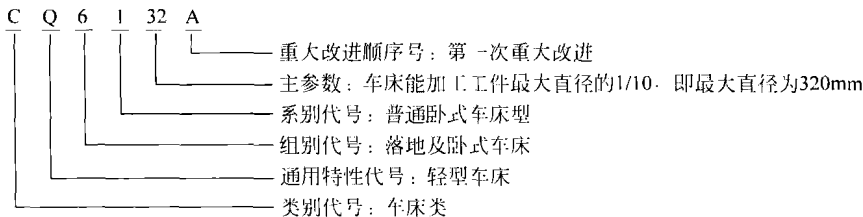
(a) 刀柄垂直安装；(b) 刀柄右倾安装；(c) 刀柄左倾安装

6.4 金属切削机床的分类与编号

金属切削机床简称为机床，它是用刀具对金属进行切削加工的机器，是机械制造厂主要的加工设备。

1. 机床型号的编制方法

为了方便使用和管理机床，每一种机床都赋予一个型号，即机床型号。机床型号是用来表示机床的类别、主要参数和主要特性的代号。我国机床型号的编制采用汉语拼音字母和阿拉伯数字按一定规律组合表示，如：



2. 机床的类别及其代号

机床分 11 类，类别代号以机床名称汉语拼音第一个字母大写表示，并按名称读音。其

中磨床由于种类较多,又分 3 类,分类号用数字表示,第一分类不予标注。如表 6.1 所示。

表 6.1 机床类别及代号

类别	车床	钻床	镗床	磨床			齿轮加工机床	螺纹加工机床	铣床	刨插床	拉床	锯床	其他机床
代号	C	Z	T	M	2M	3M	Y	S	X	B	L	G	Q
读音	车	钻	镗	磨	二磨	三磨	牙	丝	铣	刨	拉	割	其

3. 机床通用特性代号

表 6.2 列出了机床的各种通用特性及其代号。特性代号代表机床所具有的特殊性能,并按特性用汉语拼音第一个字母大写表示。机床特性代号在机床型号中列在机床类别代号的后面。

表 6.2 机床通用特性及代号

通用特性	高精度	精密	自动	半自动	数控	加工中心(自动换刀)	仿形	轻型	加重型	简式或经济型	柔性加工单元	数显	高速
代号	G	M	Z	B	K	H	F	Q	C	J	R	X	S
读音	高	密	自	半	控	换	仿	轻	重	简	柔	显	速

4. 机床的组别和系别代号

每类机床按用途、性能、结构相近或有派生关系分为若干组。机床在类下细分出 10 个组别,组别下细分出 10 个系别(型别),以阿拉伯数字表示。

5. 机床主参数及其表示

主参数代表机床规格的大小。各类机床以什么尺寸作为主参数有统一规定,主参数的值为主参数乘以其折算系数。如表 6.3 所示。

表 6.3 常用机床的主参数及其折算系数

机 床 名 称	主参数名称	主参数折算系数
卧式车床	床身上最大回转直径	1/10
立式车床	最大车削直径	1/100
转塔车床	最大车削直径	1/10
落地车床	最大工件回转直径	1/100
摇臂钻床	最大钻孔直径	1
台式钻床	最大钻孔直径	1
立式钻床	最大钻孔直径	1
卧式升降台铣床	工作台面宽度	1/10
龙门铣床	工作台面宽度	1/100
卧式铣镗床	镗轴直径	1/10
坐标镗床	工作台面宽度	1/10

续表

机床名称	主参数名称	主参数折算系数
牛头刨床	最大刨削长度	1/10
龙门刨床	最大刨削宽度	1/100
插床	最大插削长度	1/10
万能外圆磨床	最大磨削直径	1/10
内圆磨床	最大磨削孔径	1/10
平面磨床	工作台面宽度	1/10

6.5 常用量具及其使用方法

为了保证零件的加工质量,使之符合图纸规定的尺寸、形状、位置精度和表面粗糙度要求,需要用测量工具进行检测,用于测量的工具称为量具。由于零件有各种不同形状,它们的精度也不一样,因此我们就要用不同的量具去测量。生产加工中常用的量具有钢板尺、卡钳、游标卡尺、百分表、百分尺、内径量表、角尺、塞尺、刀口尺、万能角度尺及专用量具(塞规、卡规)等。

6.5.1 游标卡尺

游标卡尺简称卡尺,其结构简单,是最常用的量具之一。卡尺可以直接量出工件的外径、内径、长度、深度和厚度的尺寸。游标卡尺有 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm 三种测量精度,常用的规格有 125 mm、150 mm、200 mm、300 mm 等。其结构如图 6.12 所示,由主尺和副尺组成,不仅有外卡爪,还有内卡爪和测深尺。主尺与固定卡脚制成一体,副尺和活动卡脚制成一体,并能在主尺上滑动。游标卡尺应用于半精加工或粗加工中的测量。

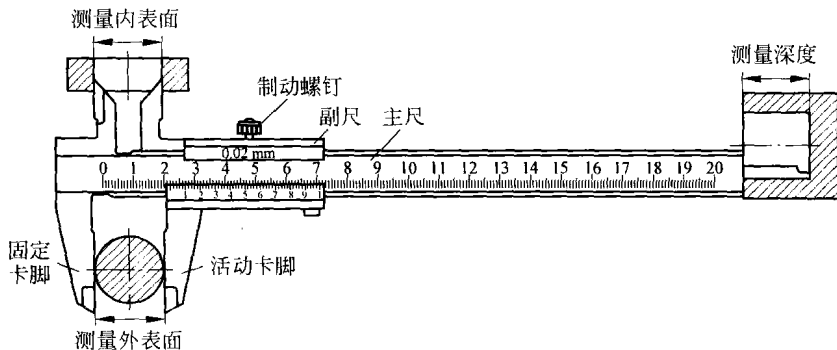


图 6.12 游标卡尺

1. 游标卡尺刻线原理

刻度值为 0.02 mm 的卡尺刻线原理如图 6.13 所示。刻度值是主尺和副尺刻线每格间

距之差,主尺在 50 mm 长度上均分 50 格,每格 1 mm。而副尺在 49 mm 长度上均分 50 格,每格为 0.98 mm。这样,主尺与副尺每格之差为 0.02 mm,即为卡尺的刻度值。

2. 游标卡尺读数方法(如图 6.14 所示)

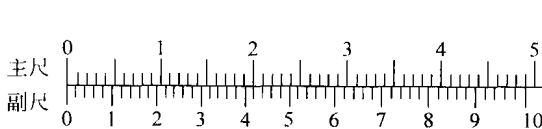


图 6.13 游标卡尺刻线原理

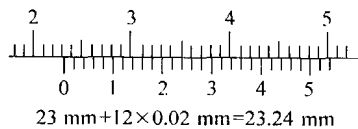


图 6.14 游标卡尺读数方法

第一步 读整数,即读出副尺零线左面主尺上的整毫米数;

第二步 读小数,根据副尺上与主尺刻线对准的刻线数乘以 0.02 读出小数;

第三步 将以上读出的整数和小数相加,即得总的测量尺寸。

3. 使用游标卡尺的注意事项

(1) 使用前应擦干净卡脚,并闭合卡脚,检查主副尺零线是否重合。若不重合,则应在测量后根据原始误差修正读数。

(2) 测量时应使卡脚逐渐与工件表面靠近,最后轻微接触。卡脚不得用力紧压工件,以免卡脚变形,影响测量精度。

(3) 游标卡尺仅用于测量已加工的静止的光滑表面。表面粗糙的工件和正运动的工件都不能用游标卡尺测量,以免卡脚过快磨损或发生其他事故。

(4) 测量时游标卡尺必须放正,切忌歪斜,以免测量不准。

除以上讨论的游标卡尺外,还有高度游标卡尺和深度游标卡尺,见图 6.15,它们的读数原理与游标卡尺相同。高度游标卡尺除用于测量工件的高度外,还可以用来精密划线。深度游标卡尺专用于测量深度尺寸。

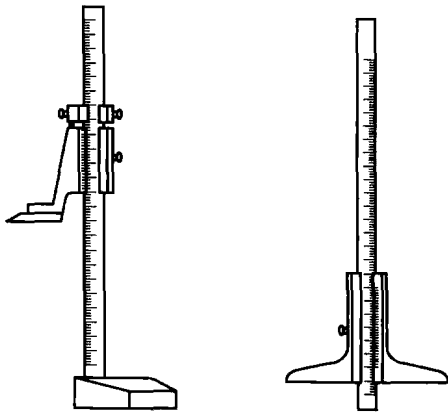


图 6.15 高度游标卡尺和深度游标卡尺

6.5.2 百分尺

百分尺(又称千分尺),是生产中最常用的精密量具之一。按结构及用途分为外径百分尺、内径百分尺、测深百分尺、螺纹百分尺、壁厚百分尺等。各种百分尺都是利用精密螺旋副原理来测量的,最常用的是外径百分尺,如图 6.16 所示。它的刻度值是 0.01,测量精度高于游标卡尺。百分尺的螺杆与活动套筒连在一起,当转动活动套筒时,螺杆即向左或右移动,螺杆与砧座之间的距离即为零件的外圆直径或长度尺寸。

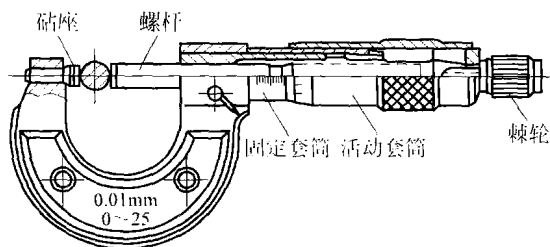


图 6.16 外径百分尺

1. 百分尺的刻线原理

百分尺主要由固定套筒和活动套筒组成,如图 6.17 所示,固定套筒在轴线方向刻有一条中线,中线的上、下方各有一排刻线,刻线每格均为 1,但上、下刻线相互错开 0.5。由轴向刻线可读出整数和 0.05 的小数。活动套筒左端圆周上有 50 等分的刻度线,因与活动套筒相连的测量螺杆的螺距是 0.5,所以,当活动套筒和螺杆旋转一周时,轴向移动 0.5,则活动套筒上每小格的读数是 $0.5/50=0.01$ 。当百分尺的测量螺杆与砧座接触时,活动套筒的边沿与轴向刻度的零线重合,同时,圆周上的零线应与中线对齐。

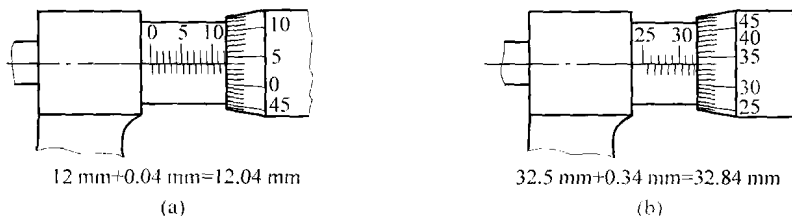


图 6.17 百分尺的刻线原理和读数方法

(a) 0~25 mm 百分尺; (b) 25~50 mm 百分尺

2. 百分尺的读数方法

- (1) 读出固定套筒上露出刻线的毫米数,它是 0.5 的整数倍;
- (2) 活动套筒上有一条刻度线与固定套筒的中线重合,读出它的格值并乘以刻度值 0.01;
- (3) 将以上两部分读数加起来即为总尺寸。

3. 使用百分尺的注意事项

(1) 校正零点线:先将砧座与螺杆接触的测量面用细软干净布擦干净并合拢,看圆周刻度零线是否与中线零点对齐,如没有对齐,则百分尺存在误差,应记住此误差值,在测量时根据原始误差修正读数。

(2) 测量时,若尺口距被测位置有较大距离,可转动套筒调节。当活动测头已接近工件时,必须使用活动套筒后端的棘轮盘(一个恒力装置)控制测量力。当棘轮发出“嘎嘎”打滑声时,表示压力合适,停止拧动,此时读数。

(3) 读数时要注意固定套筒的刻度是 0.5 的整数倍,不能多读或少读 0.5。

- (4) 被测工件面必须擦干净,以保证测量的准确性。
- (5) 不可测量转动着的工件。

6.5.3 塞尺

塞尺也称厚薄尺,如图 6.18 所示,是一组厚度为 0.02~0.5 不等的薄钢片,每片上印有厚度标记,用于检验两贴合面之间的缝隙大小。测量时,用塞尺直接塞入间隙,则塞进的所有薄钢片厚度之和为两贴合面之间的间隙值。塞尺测量精度不高。使用时必须擦干净尺面和工件,测量时不能用力硬塞,以免尺片弯曲和折断。

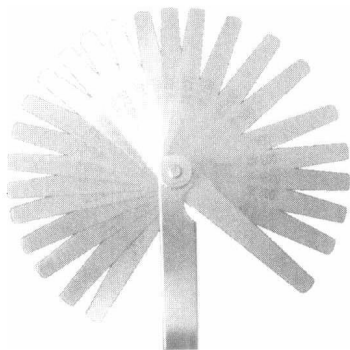


图 6.18 塞尺

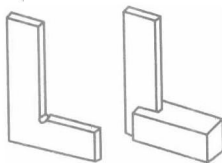


图 6.19 直角尺

6.5.4 直角尺

直角尺内侧两个边和外侧两个边分别成 90° 角,如图 6.19 所示,用来检测工件表面间的垂直度。直角尺使用时将一条边与工件的基准面贴合,然后查看另一条边与工件之间的间隙。当工件精度较低时,采用塞尺测量其缝隙大小;当精度较高时,工件与直角尺间的缝隙很小,这时借助于从缝隙中衍射出来光的颜色可以测出间隙大小。

6.5.5 刀口尺

刀口尺用于采用光隙法和痕迹法检测小型平面的平面度和直线度,如图 6.20 所示,间隙大时可用塞尺测量出间隙值。



图 6.20 刀口尺

6.5.6 光滑极限量规

在生产中并非所有零件的测量或检验都要读出它的具体数值,有些零件只需要知道所加工的尺寸或形状是否合格。量规就是这样的一类量具,光滑极限量规是专门用于孔或轴及厚度或槽宽测量的专用量具。

光滑极限量规分为卡规和塞规,如图 6.21 所示。塞规用于检验孔和槽宽等内尺寸,它的两端长短不一,长的一端叫过规,控制被测孔的最小极限尺寸,过规能插入被测孔内,说明孔的尺寸大于最小极限尺寸。短的一端叫不过规,控制被测孔的最大极限尺寸,不过规不能插入被测孔内,说明孔的尺寸小于最大极限尺寸。若孔的尺寸介于最大和最小极限尺寸之间,则孔的尺寸合格。也就是说,在检验中塞规的过规能全部通过被测孔,不过规进不去,则被测孔合格,否则不合格。

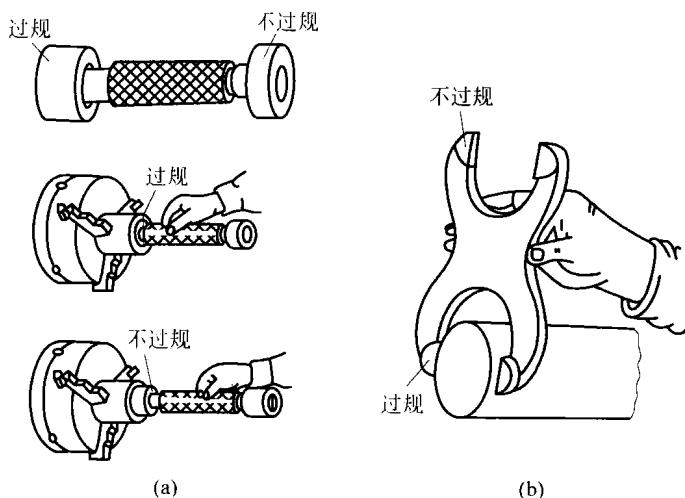


图 6.21 量规

(a) 塞规及其使用; (b) 卡规及其使用

卡规用于检验轴径和厚度等外尺寸,也是由过规和不过规组成,测量原理基本上与塞规相似。

6.5.7 百分表

百分表是一种精度较高的比较测量量具,一般只用于测量相对数值,不用于测量绝对数值。百分表主要用于工件尺寸、形状、位置误差(圆度、平面度、垂直度、跳动等)的检验,机床调试以及安装工件时的精密找正。百分表的结构如图 6.22 所示,当测量杆向上或向下移动 1 mm 时,表内齿轮传动系统带动大指针转一圈,小指针转动一格。刻度盘在圆周上分有 100 等分的刻度线,每一小格读数为 $1/100=0.01$ mm。小指针每格读数为 1 mm。小指针的刻度范围就是百分表的测量范围,通常有 3 mm、5 mm、10 mm 几种测量规格。测量时将百分表装在表架上,先使测头压在工件上,读出初始值。初始值不一定为零,百分表的表盘

可以自由转动,若希望初始值为零可以转动表盘使指针指向零。测量时大小指针所示读数之和即为尺寸的变化量。

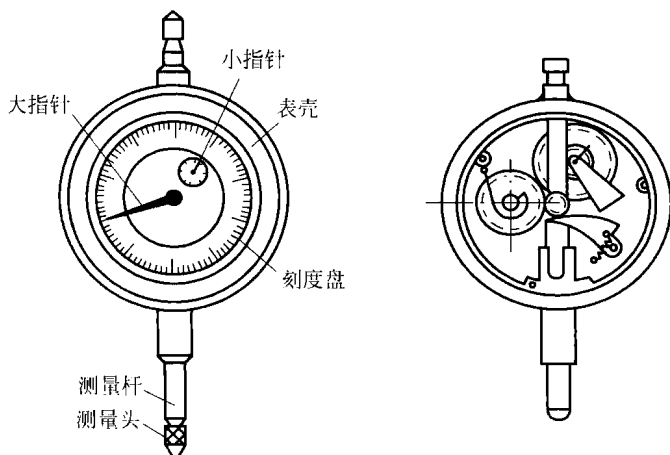


图 6.22 百分表

6.5.8 万能角度尺

万能角度尺是用来测量零件内、外角度的量具,结构如图 6.23 所示。万能角度尺的读数机构是根据游标原理制成的,主尺刻线每格为 1° ,游标的刻线是取主尺的 29° 等分为 30 格,因此,游标刻线每格为 $29^\circ/30$,即主尺 1 格与游标 1 格差值为 $1^\circ - 29^\circ/30 = 1^\circ/30 = 2'$,也就是万能角度尺读数准确度是 $2'$,其读数方法与游标卡尺的完全相同。测量时应先校准零位,即角尺与直尺均装上,角尺的底边及基尺均与直尺无间隙接触,此时主尺与游标的零线对准。调好零位后,通过改变基尺、角尺、直尺的相互位置,可测量 $0^\circ \sim 320^\circ$ 范围内的任意角度。

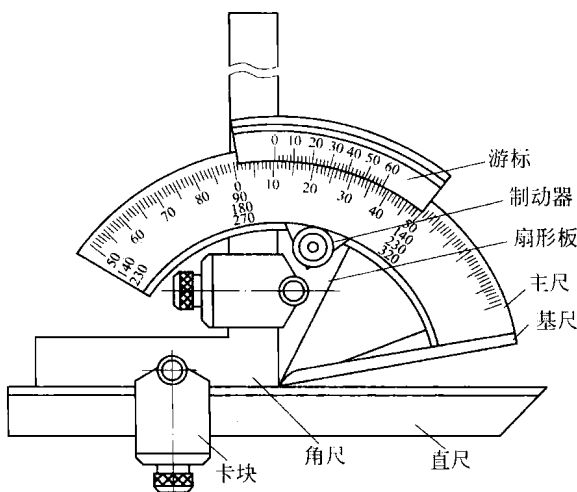


图 6.23 万能角度尺

使用万能角度尺时,要根据测量范围组合量具,图 6.24 为万能角度尺使用实例。

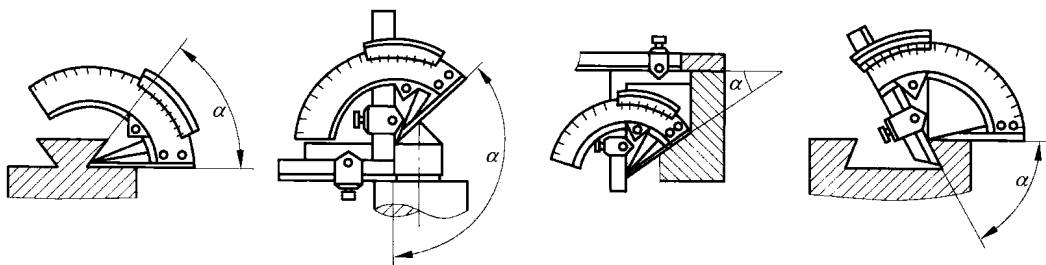


图 6.24 万能角度尺使用实例

6.6 零件加工质量及检测方法

6.6.1 精度

所谓精度,是指零件加工后的几何参数与理想参数的符合程度。相符合的程度越高,即偏差(加工误差)越小,加工精度越高。零件的精度包括尺寸精度、形状精度及各表面的相互位置精度。

1. 尺寸精度

尺寸精度包括零件表面本身的尺寸精度(如圆柱面的直径)和表面间尺寸的精度(如孔间的距离)。尺寸精度的高低,用尺寸公差(尺寸允许的变动量)大小来表示。同一基本尺寸的零件,公差值小的精度高,公差值大的精度低。零件尺寸精度越高的表面,其表面粗糙度值也越小。但表面粗糙度值小的表面,尺寸精度不一定很高,如手柄等非公差配合尺寸表面。

国家标准 GB/T 1800.2—1998 规定,尺寸精度分为 20 级,即 IT0、IT01 和 IT1~IT18, IT 表示标准公差。数字越大,精度越低。

2. 形状精度

形状精度是指实际形状相对于理想形状的准确程度。类似于尺寸精度,在零件加工中出现不圆、不平等误差不可避免。以图 6.25 所示的轴为例,虽然都在尺寸公差范围内,却可能加工成 8 种不同形状的轴,把这些形状不同的轴装在精密仪器上,效果显然有差别。因此,为了满足产品质量的需要,必须对零件表面的形状加以控制,规定允许的变动范围,即设计者要在图纸上给出零件允许的变动范围,也就是形状公差。

形状公差反应了形状精度。国家标准 GB/T 1182—1996 规定的 6 项形状公差。它们是直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度和面轮廓度。公差等级分为 1~12 级(圆度和圆柱度分为 0~12 级),1 级精度最高,公差值最小。形状公差符号如表 6.4 所示。

形状公差在图样上用两个框格标注,前一格标注形状公差符号,后一格填写形状公差值。常用的形状公差有以下几种。

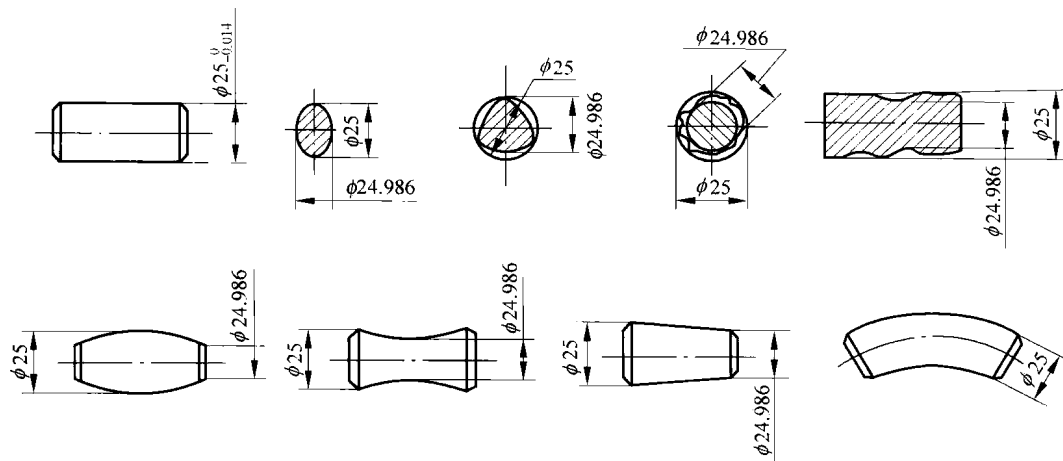


图 6.25 轴加工后可能产生的形状误差

表 6.4 形状公差名称及符号

项目	直线度	平面度	圆度	圆柱度	线轮廓度	面轮廓度
符号	—					

1) 直线度

直线度是指被测直线偏离其理想形状的程度。直线度公差是被测直线相对于理想直线的允许变动量,其标注、公差带及测量方法如图 6.26 所示。

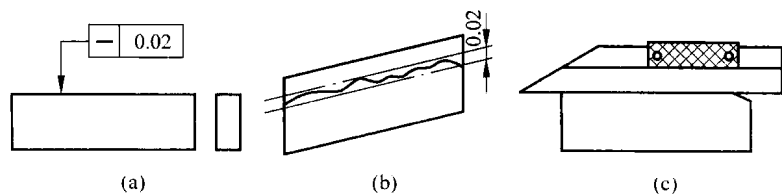


图 6.26 直线度公差标注、公差带及测量方法

(a) 标注; (b) 公差带; (c) 测量方法

2) 平面度

平面度是指被测平面偏离其理想形状的程度。平面度公差是被测平面相对于理想平面的允许变动量,其标注、公差带及测量方法如图 6.27 所示。

3) 圆度

圆度是指被测圆柱面或圆锥面在正截面内的实际轮廓偏离其理想形状的程度。圆度公差是被测圆相对于理想圆的允许变动量,其标注、公差带及测量方法如图 6.28 所示。

4) 圆柱度

圆柱度是指被测圆柱偏离其理想形状的程度。圆柱度公差是被测圆柱面相对于理想圆柱面的允许变动量,其标注、公差带及测量方法如图 6.29 所示。

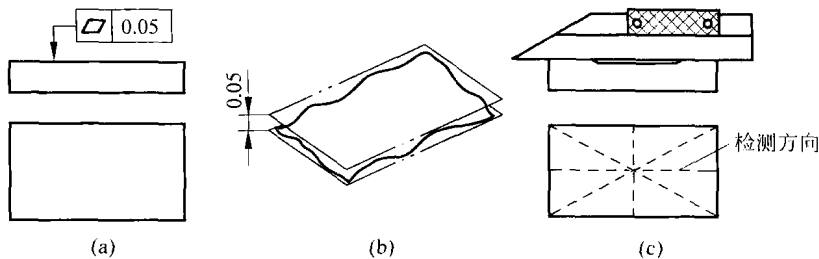


图 6.27 平面度公差标注、公差带及测量方法

(a) 标注; (b) 公差带; (c) 测量方法

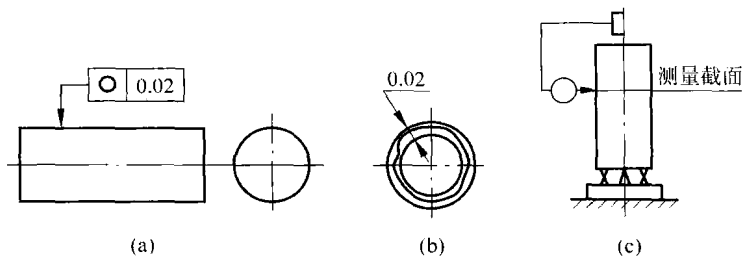


图 6.28 圆度公差的标注、公差带及测量方法

(a) 标注; (b) 公差带; (c) 测量方法

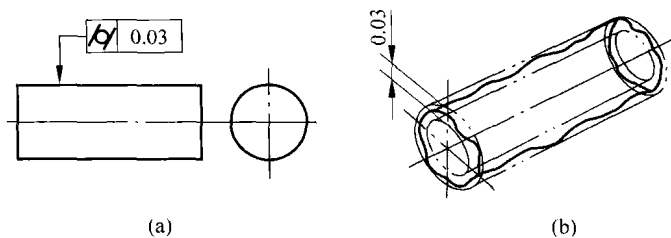


图 6.29 圆柱度公差的标注、公差带及测量方法

(a) 标注; (b) 公差带

3. 位置精度

位置精度是指零件(点、线、面)的实际位置相对于理想位置的准确程度,用位置公差表示。国家标准 GB/T 1182—1996 规定的位置公差项目有平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、圆跳动和全跳动 8 项,其符号如表 6.5 所示。位置公差分为 1~12 共 12 个等级。

表 6.5 位置公差名称及符号

项目	平行度	垂直度	倾斜度	同轴度	对称度	位置度	圆跳动	全跳动
符号	//	⊥	∠	◎	≡	⊕	↗	↗↗

位置公差与形状公差相类似,常合称为形位公差,但它们有明显的区别。形状公差控制

单一几何要素的误差,而位置公差控制多个几何要素的位置关系,其中以某一要素为基准。

位置公差在图样上用三个框格标注,前一格标注公差符号,中间一格填写位置公差值,后一格标注基准代号。常用的位置公差有以下几种。

1) 平行度

平行度是指零件上被测要素(线或面)相对于基准平行方向所偏离的程度。平行度公差的标注、公差带及检测方法如图 6.30 所示。

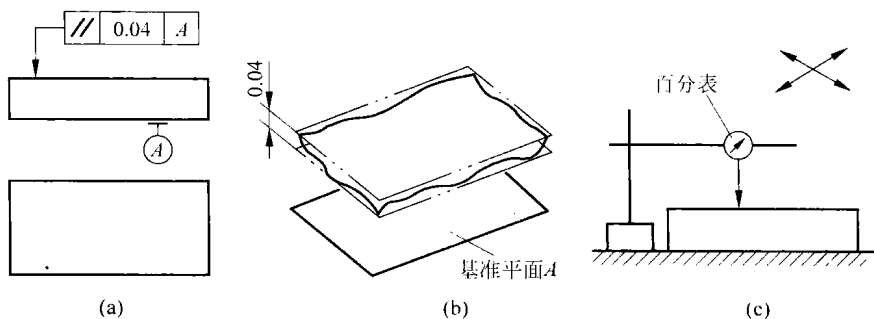


图 6.30 平行度公差的标注、公差带及检测方法

(a) 标注; (b) 公差带; (c) 检测方法

2) 垂直度

垂直度是指零件上被测要素(线或面)相对于基准垂直方向所偏离的程度。垂直度公差的标注、公差带及测量方法如图 6.31 所示。

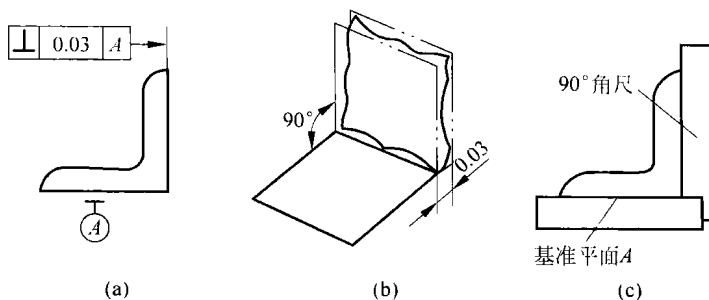


图 6.31 垂直度公差的标注、公差带及检测方法

(a) 标注; (b) 公差带; (c) 检测方法

3) 同轴度

同轴度是指零件上被测轴线相对于基准轴线的偏离程度。同轴度公差的标注、公差带及测量方法如图 6.32 所示。

4) 圆跳动

圆跳动是指在被测圆柱面的任一横截面上或端面的任一直径处,在无轴向移动的情况下,围绕基准轴线回转一周时,沿径向或轴向的跳动程度。圆跳动公差是在上述条件下用百分表测量时,允许的最大与最小读数之差。径向圆跳动和端面圆跳动公差的标注及测量方法如图 6.33 所示。

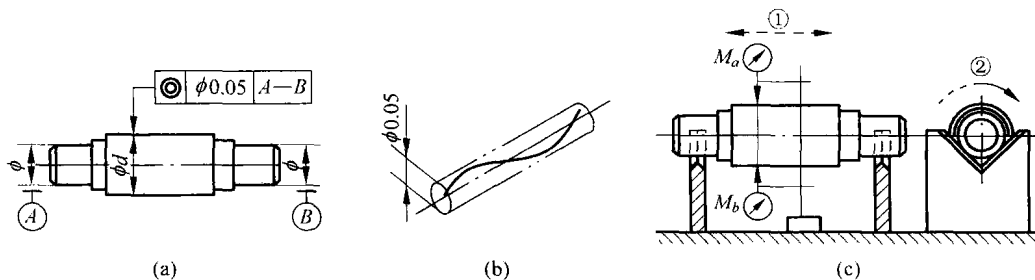


图 6.32 同轴度公差标注、公差带及检测方法

(a) 标注; (b) 公差带; (c) 检测方法

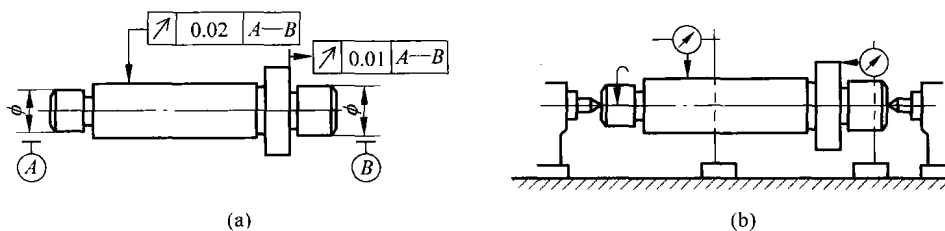


图 6.33 圆跳动公差标注及检测方法

(a) 标注; (b) 在偏摆仪上检测圆跳动的方法

6.6.2 表面粗糙度

由于摩擦、振动、刀痕等原因,经过机械加工后的工件表面总会留下微小峰谷。这种零件已加工表面具有的较小间距和微小峰谷的不平度,称为表面粗糙度。表面粗糙度体现零件表面的微观几何形状误差。这种误差使零件表面粗糙不平,即使经过精细加工的表面,使用仪器仍能测量出其表面的峰谷形态。峰谷的高低越小,则表面粗糙度越小,外观表现为零件越光洁。国家标准 GB/T 1031—1995 规定,表面粗糙度的评定参数主要有两种。常用的是轮廓算术平均偏差 Ra ,单位 μm 。 Ra 是指在取样长度 L 内轮廓偏距 y 的绝对值的算术平均值,如图 6.34 所示。

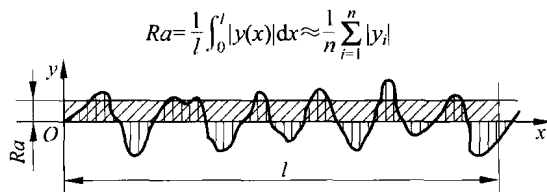


图 6.34 轮廓算术平均偏差

Ra 值已经标准化,如 100,50,25,12.5, ..., 0.4, ..., 0.012,0.008,表示方法是在符号上标以参数值,如表 6.6,表 6.7 所示。一般来说, Ra 值越小,零件表面越光洁,质量越高。

表 6.6 表面粗糙度符号的意义及应用

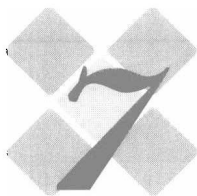
符 号	符 号 说 明	意 义 及 应 用
	基本符号, 两条不等长的倾斜细实线组成	单独使用无意义
	基本符号上加一短划	表示表面粗糙度是用去除材料的方法获得, 如车、铣等
	基本符号内加一小圆	表示表面粗糙度是用不去除材料的方法获得, 如铸、锻、焊等

表 6.7 轮廓算术平均偏差 Ra 的标注

代 号	意 义
	用任何方法获得的表面, Ra 的最大允许值为 $3.2 \mu\text{m}$
	用去除材料方法获得的表面, Ra 的最大允许值为 $3.2 \mu\text{m}$
	用不去除材料方法获得的表面, Ra 的最大允许值为 $3.2 \mu\text{m}$
	用去除材料方法获得的表面, Ra 的最大允许值 Ra_{\max} 为 $3.2 \mu\text{m}$, 最小允许值 Ra_{\min} 为 $1.6 \mu\text{m}$

复习思考题

1. 切削速度与主轴转速有区别吗? 为什么?
2. 为什么不用碳素工具钢制造车刀?
3. 为什么零件的各加工尺寸要给出公差? 公差的大小说明了什么?
4. 零件表面粗糙度越高是否精度越高? 为什么?
5. 常用的量具有哪些?
6. 零件图中没有标注公差的尺寸有没有公差?
7. 刀具材料应具备的基本性能是什么?
8. 形状公差和位置公差各有哪几项? 写出各项符号。



车削加工

7.1 概 述

在车床上,工件作旋转的主运动,刀具作平面直线或曲线的进给运动,完成机械零件切削加工的过程,称为车削加工。它是机械加工中最基本、最常用的加工方法。各类车床约占金属切削机床总数的一半,所以它在机械加工中占有重要的位置。

车削适用于加工回转零件,其切削过程连续平稳,车削加工的范围很广,可完成的主要工作如图 7.1 所示。车削加工精度一般为 IT11~IT7,表面粗糙度 Ra 值为 $0.8\sim12.5\ \mu\text{m}$ 。

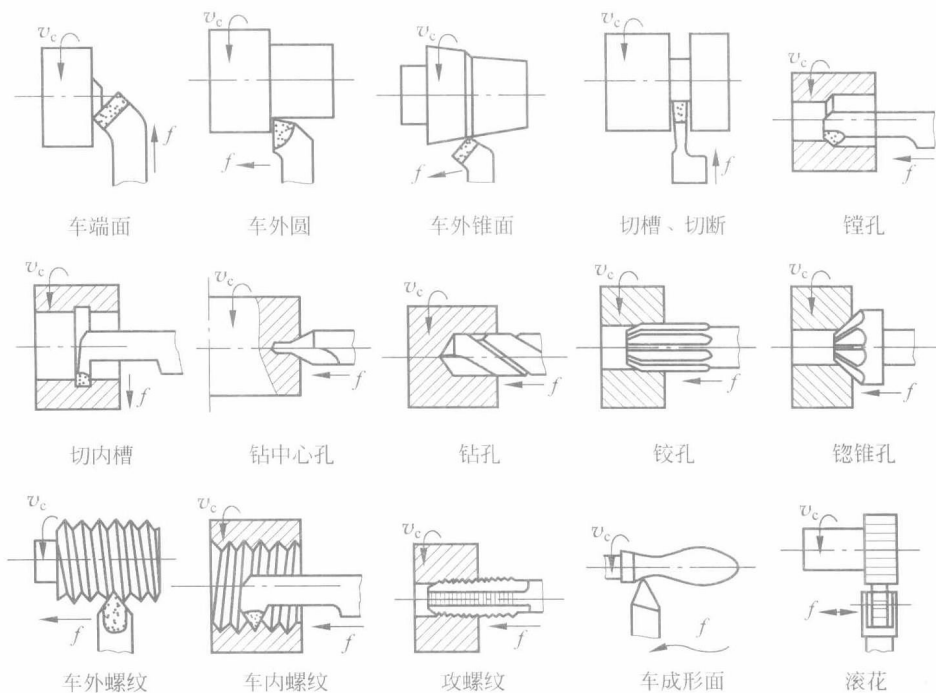


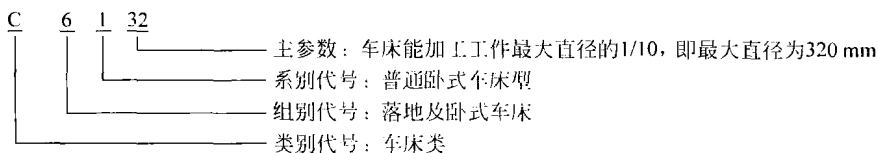
图 7.1 车削的主要工作

车床种类很多,有普通卧式车床、立式车床、转塔车床、自动和半自动车床、仪表车床、数控车床等。随着电子和计算机等技术的发展,车床正朝着高精度、高自动化的方向发展。

7.2 车 床

7.2.1 车床的型号及组成

目前实习常用的车床为卧式车床,型号有 C6132、C6136、C6140 等。C6132 的含义如下:



C6132 车床如图 7.2 所示,它由床身、主轴箱、进给箱、溜板箱、光杠和丝杠、拖板与刀架、尾架、床腿等组成。

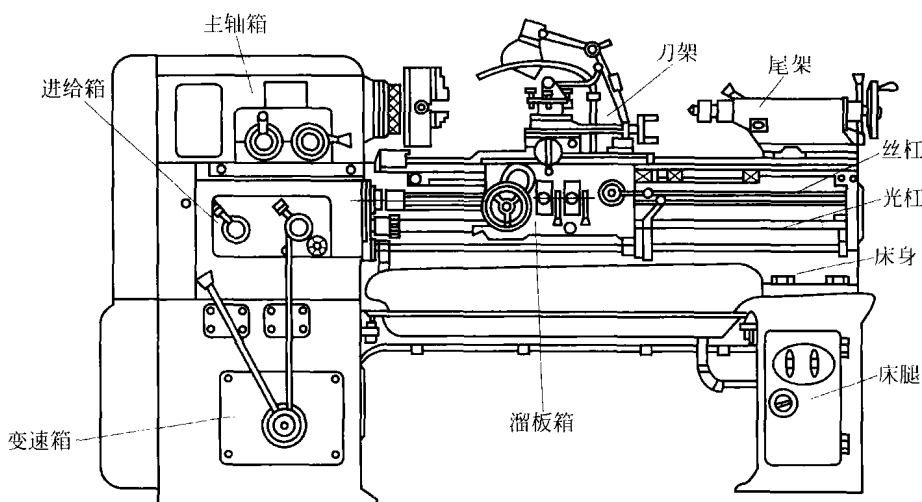


图 7.2 C6132 车床外形图

(1) 床身 用于支撑和连接车床各部件并保证各自相对位置。床身上有供刀架和尾座移动用的导轨。C6132 车床床身内还装有变速箱和电机等。

(2) 主轴箱 又称床头箱,内装主轴和主轴变速机构。它用于支撑主轴并使之得到不同的转速。车床主轴为空心结构,可通过小于主轴孔径的毛坯棒料。主轴的前端安装卡盘或其他装夹工件的夹具;前端内锥为莫氏锥度,用于安装顶尖来装夹轴类工件或其他带锥柄的夹具或量棒。主轴箱还把运动传给进给箱,以便使刀具实现进给运动。

(3) 进给箱 又称走刀箱,内部是一套变速机构。通过进给箱的变换并由光杠或丝杠输出,可以获得不同的进给速度。

(4) 溜板箱 又称拖板箱,内装有进给运动的分向机构,用来将光杠输入的转动变成刀架的纵向或横向进给运动输出,将丝杠的转动变成刀架的纵向运动。

(5) 光杠和丝杠 通过光杠或丝杠将进给箱运动传给溜板箱。光杠转动使刀具作机动进给运动,用于车削各内外表面。丝杠转动则用于车削螺纹。

(6) 拖板与刀架 在溜板箱上面有大、中、小三层拖板,在小拖板与中拖板间有转盘,小拖板上方是刀架。大拖板直接放在床身导轨上,在溜板箱的带动下各拖板和刀架沿导轨作纵向移动。在大拖板上有一垂直于床身导轨的燕尾导轨,为中拖板,它可以完成横向进给运动。在中拖板与小拖板间的转盘上有刻度,转盘用螺栓紧固在中拖板上,松开螺母转盘可以在水平面一定范围内扳转一定角度以改变小拖板的进给方向,一般用于车削短锥面。小拖板可以沿转盘上的导轨作短距离移动。刀架用于装夹和转换刀具。

(7) 尾架 又称尾座,它的位置可以沿床身导轨调节。尾架莫氏锥度套筒内可以安装顶尖、中心钻、麻花钻、扩孔钻和铰刀,分别用于支承长工件、钻中心孔、钻圆柱孔、扩孔和铰孔。

(8) 床腿 支承床身,并与地基连接。

7.2.2 车床的传动系统

C6132 卧式车床有两条传动路线,从电机经变速箱、带轮和主轴箱使主轴旋转,称为主运动传动系统。从主轴箱经挂轮到进给箱,再经光杠或丝杠到溜板箱使刀架移动,称为进给运动传动系统。具体传动路线如图 7.3 所示。

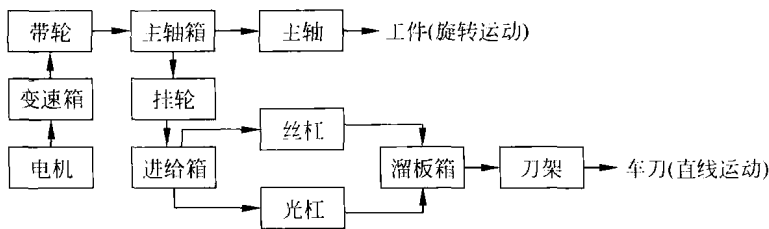


图 7.3 C6132 卧式车床的传动路线

(1) 主运动传动系统 C6132 卧式车床主轴共有 12 种转速,它们分别是 45、66、94、120、173、248、360、530、750、958、1380、1980 r/min。

(2) 进给运动传动系统 车床作一般进给时,刀架由光杠经过溜板箱中的传动机构来带动。对于每一组配换齿轮,进给箱可变化 20 种不同的进给量。

加工螺纹时,车刀的纵向进给运动由丝杠带动溜板箱上的开合螺母,拖动刀架来实现。

7.2.3 车床的维护保养和安全操作规程

(1) 穿好合适的工作服,扎紧袖口。女同学必须戴帽子并把长发塞入帽中。不允许戴手套操作车床。

(2) 开车前按指定加油孔注油进行机床润滑,检查各手柄的位置是否正确,检查工具、量具、刀具是否合适,安放是否合理。

(3) 停车状态或传入主轴齿轮处于脱空位置,进行装夹工件。装夹好工件,要及时取下

卡盘扳手,以免伤人。

(4) 工件和刀具必须装夹牢固,否则会飞出伤人。

(5) 工作时必须精力集中,不许擅自离开机床,需要离开时必须关闭电源。工作时操作者的头、手和身体部位不能离旋转机件太近。

(6) 开车时,变换主轴转速必须停车进行;变换进给箱手柄位置要在低速时进行;不准用手摸工件和用量具测量工件;不准用手拉切屑,要用专用的钩子清除切屑。

(7) 若工作中出现异常情况应立即关闭电源,然后向指导教师反映情况。

(8) 停车时因惯性工件会继续旋转,不许用手去刹住转动的工件或卡盘。

(9) 工作完毕后,要关闭电源,清理切屑,擦净机床,并将大拖板摇至车尾一端。

(10) 不允许在卡盘、机床导轨上敲击和校正工件。床面上不准放工件、刀具和量具。

7.3 车 刀

7.3.1 车刀的种类和结构形式

车刀的种类很多,按用途的不同可分为:外圆车刀、端面车刀、切断刀、镗孔刀、螺纹车刀和成形车刀等。车刀可按其形状分为直头、弯头、尖头、圆弧车刀,左偏刀和右偏刀等,图 7.4 为常用车刀的种类。按其结构的不同,车刀又可分为整体式、焊接式、机夹式、可转位式,如图 7.5 所示。

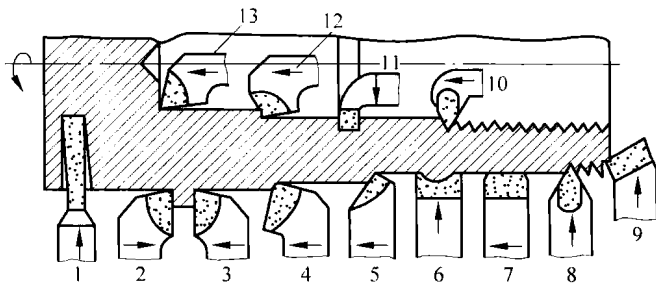


图 7.4 车刀的种类

- 1 切断刀; 2 左偏刀; 3 右偏刀; 4—弯头车刀; 5—直头车刀; 6 成形车刀;
7 宽刃精车刀; 8 外螺纹车刀; 9—端面车刀; 10—内螺纹车刀;
11 内槽车刀; 12 通孔车刀; 13 盲孔车刀

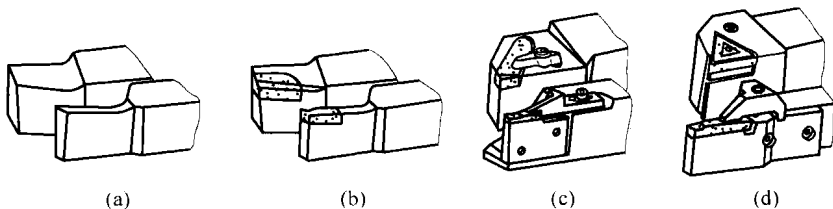


图 7.5 车刀的结构类型

- (a) 整体式; (b) 焊接式; (c) 机夹式; (d) 可转位式

(1) 整体式车刀一般用高速钢制造,刃口可刃磨得较锋利,一般应用于小型车床或有色金属的加工。

(2) 焊接式车刀一般是将硬质合金或高速钢刀片焊接在刀头上,其结构紧凑,使用灵活,应用于各类车刀,特别是小刀具。

(3) 机夹式车刀可避免焊接产生的内应力、裂纹等缺陷,刀杆利用率高,刀片可集中刃磨获得所需参数,使用灵活方便。常用于外圆、端面、镗孔、切断、螺纹等车刀。

(4) 可转位式车刀既避免了因焊接而出现的缺陷,刀片又可快速转位,提高了生产率,断屑也稳定,且可使用涂层刀片。

按刀头材料的不同,车刀还可分为高速钢车刀和硬质合金车刀。

7.3.2 车刀的刃磨

整体式车刀和焊接式车刀用钝后,必须重新刃磨,以恢复车刀原来的形状和角度,保持锋利。车刀的刃磨一般在砂轮上采用手工刃磨。白色氧化铝砂轮用于磨高速钢和硬质合金刀的刀头部分,绿色碳化硅砂轮用于磨硬质合金刀片。刃磨外圆车刀的步骤如下:

(1) 磨前刀面 磨出车刀的前角 γ_0 和刃倾角 λ_s ;

(2) 磨主后刀面 磨出车刀的主偏角 K_r 和后角 α_o ;

(3) 磨副后刀面 磨出车刀的副偏角 K'_r 和副后角 α'_o ;

(4) 磨刀尖圆弧 在主切削刃与副切削刃之间磨出刀尖圆弧,以提高刀尖强度和改善散热条件。

刃磨时,人要站在砂轮侧面,双手要拿稳车刀,用力要均匀,倾斜角应合适,要在砂轮圆周表面中间部位磨,并左右移动。磨硬质合金车刀时,刀头磨热后应将刀柄置于水中冷却,避免硬质合金刀片过热沾水急冷而产生裂纹。磨高速钢车刀时,刀头磨热后应放入水中冷却,以免刀具因温升过高而软化。在砂轮机上将车刀各面磨好后,可用油石细磨车刀各面,进一步降低各切削刃及各面的表面粗糙度,从而提高车刀的耐用度和工件加工表面的质量。

7.3.3 车刀的安装

在方刀架上安装车刀必须注意以下几点:

(1) 车刀刀尖应与车床的主轴轴线等高,否则前后角均发生变化;

(2) 车刀刀杆应与车床主轴轴线垂直,否则主、副偏角均发生变化;

(3) 车刀伸出长度不能太长,在不影响观察的前提下应尽量短,一般不超过刀杆厚度的两倍或车刀长度的 $1/4 \sim 1/3$,否则易产生振动;

(4) 刀杆下的垫片应平整稳定,并尽量用厚垫片,以减少垫片叠加数目,从而减少安装误差;

(5) 车刀至少要用两个螺钉压紧在刀架上,并交替逐个拧紧。

7.4 工件安装及所用附件

在车床上安装工件,要求定位准确,即被加工表面的回转中心与车床主轴的轴线重合,夹紧可靠,能承受合理的切削力,保证工作时安全,使加工顺利,达到预期的加工质量。在车床上常用于装夹工件的附件有:三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、顶尖、心轴、中心架、跟刀架、花盘和弯板等。

7.4.1 三爪自定心卡盘安装工件

三爪自定心卡盘简称三爪卡盘,是车床上最常用的附件,其结构如图 7.6 所示。它由一个大伞齿轮、三个小伞齿轮、三个卡爪和卡盘体四部分组成。当使用卡盘扳手转动任何一个小伞齿轮时,均能带动大伞齿轮旋转,于是,大伞齿轮背面的平面螺纹就带动三个卡爪同时向中心收拢或张开,以夹紧不同直径的工件。由于三个卡爪同时移动并能自行对中,故三爪自定心卡盘适宜快速夹持截面为圆形、正三角形、正六边形的工件。三爪自定心卡盘还附带三个反爪,换到卡盘体上即可用来夹持直径较大的工件。

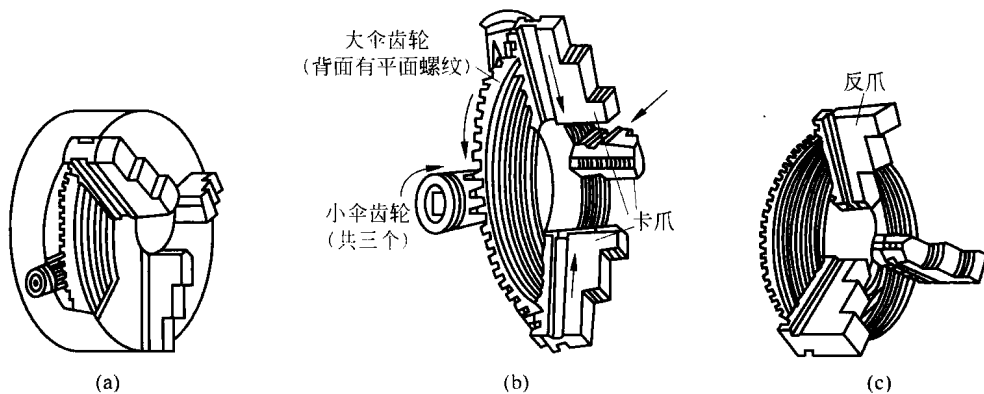


图 7.6 三爪自定心卡盘

(a) 三爪卡盘外形; (b) 三爪卡盘结构; (c) 反三爪卡盘

使用三爪卡盘装夹工件的步骤如下:

- (1) 将毛坯轻轻夹持在三个爪之间;
- (2) 使主轴低速回转,检查工件有无偏摆,若出现偏摆则在停车后用小锤轻敲校正,然后夹紧工件;
- (3) 检查刀架是否与卡盘或工件在切削行程内有碰撞,并注意每次使用卡盘扳手后及时取下扳手,以免开车时飞出伤人。

7.4.2 四爪单动卡盘安装工件

四爪单动卡盘简称四爪卡盘,其结构如图 7.7 所示。它有 4 个互不相关的卡爪均匀地分布在圆周上,每一个卡爪后面均是一个丝杠螺母机构,它的 4 个卡爪通过 4 个调整螺杆独立移动,因此用途广泛。它不但可以安装截面是圆形的工件,还可以安装截面为方形、长方形、椭圆或其他某些形状不规则的工件。在圆盘上车偏心孔也常用四爪卡盘安装。此外,四爪卡盘的夹紧力比三爪卡盘大,所以也用来安装较重的圆形截面工件。如果把 4 个卡爪各自调头安装在卡盘体上,即成为反爪,可安装尺寸较大的工件。但 4 个卡爪不具备自定心功能,为了使工件加工面的轴线与机床主轴轴线同轴就必须找正,找正所用的工具是划针盘或百分表。

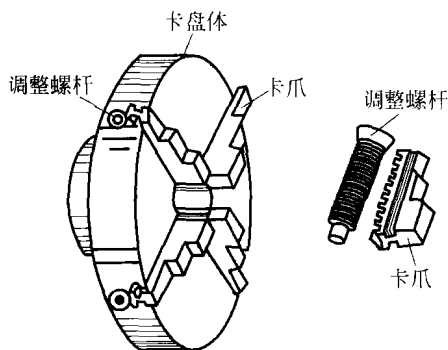


图 7.7 四爪单动卡盘

找正方法如图 7.8 所示。划针盘用于按工件上毛糙的表面或按钳工划的线去找正,找正精度低。百分表用于已加工表面的找正,通过表针指示的跳动值判断是否对正,找正精度高。

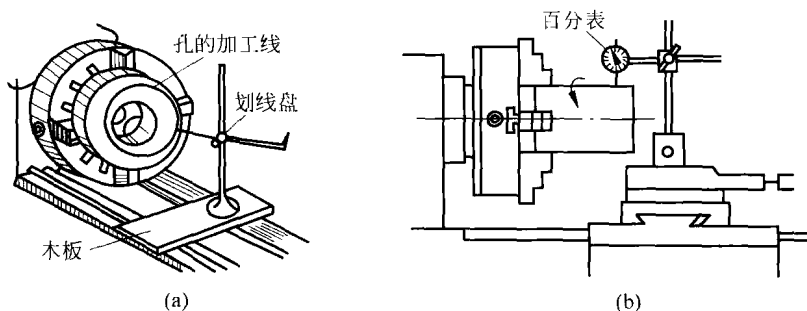


图 7.8 用四爪单动卡盘安装工件时的找正

(a) 用划针盘找正; (b) 用百分表找正

7.4.3 双顶尖安装工件

较长的或细长的轴类零件常采用双顶尖方式安装工件,如图 7.9 所示。安装前将工件端面钻出中心孔,然后把轴架在前后两个顶尖上,将顶尖的圆锥面顶在中心孔中。前顶尖装在主锥孔内,并和主轴一起旋转,后顶尖装在尾座套筒内,前后顶尖就确定了轴的位置。将卡箍紧固在轴的一端,卡箍的尾部插入拨盘的槽内,拨盘安装在主轴上(安装方式与三爪自定心卡盘相同)并随主轴一起转动,通过拨盘带动卡箍即可使轴转动。为了防止高速车削时工件与后顶尖强烈摩擦,后顶尖常用活顶尖,即装有滚动轴承的顶尖。而前顶尖随主轴及工件一起转动,与工件间没有相对运动,故采用死顶尖。死顶尖仅是一个 60° 的圆锥面。

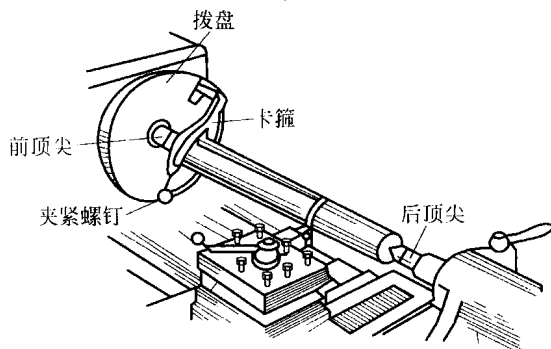


图 7.9 用双顶尖安装工件

7.4.4 心轴安装工件

对于盘套类零件在卡盘上加工时,其外圆、孔和两个端面无法在一次安装中加工完成,尤其当外圆轴线与孔的轴线要求同轴时,或者端面与轴线的跳动有要求时,如果把零件调头安装再加工,就无法保证上述位置精度要求。这就需要利用已精加工的孔把零件安装在心轴上,再把心轴安装在前后顶尖之间,当成阶梯轴来加工外圆和端面,即可保证上述位置精度要求。

心轴的种类很多,常用的有锥度心轴、圆柱心轴和可胀心轴。

锥度心轴如图 7.10 所示,其锥度一般为 $1/2000 \sim 1/5000$,工件压入后靠摩擦力与心轴固紧。锥度心轴对中准确,装卸方便,但不能承受较大的切削力,多用于盘套类零件的精加工。

圆柱心轴如图 7.11 所示,工件装入圆柱心轴后需加上垫圈,再用螺母锁紧。它要求工件的两个端面应与孔的轴线垂直,以免螺母拧紧时心轴产生弯曲变形。这种心轴夹紧力大,但因圆柱心轴外圆与孔配合有一定间隙,对中准确度较差,多用于盘套类零件的粗加工、半精加工。

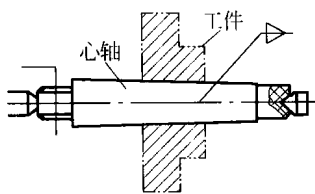


图 7.10 锥度心轴

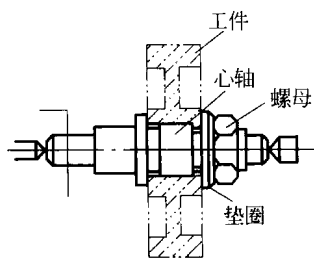


图 7.11 圆柱心轴

可胀心轴如图 7.12 所示,工件装在可胀锥套上,拧紧螺母 1,使锥套沿心轴锥体向左移动而引起直径增大,即可胀紧工件。松开螺母 1,再拧紧螺母 2 推动工件,即可把工件卸下。

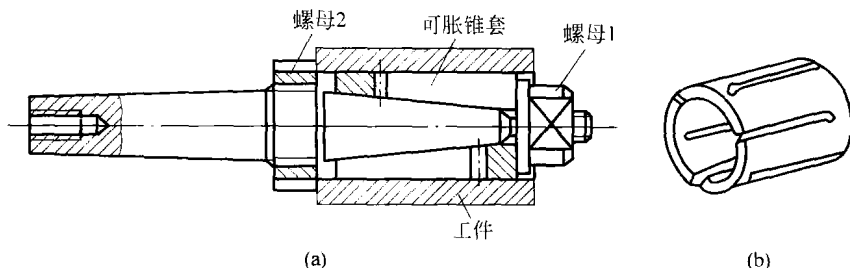


图 7.12 可胀心轴

(a) 可胀心轴; (b) 可胀轴套

7.4.5 花盘安装工件

花盘是安装在车床主轴上的一个大圆盘,端面上有呈放射状排列的许多长槽,用于穿螺栓。对于大而扁且形状不规则的零件,对于要求零件的一个面与安装面平行或对于要求孔、外圆的轴线与安装面垂直时,可以把工件直接压在花盘上加工。如图 7.13 所示。

对于某些形状不规则的零件,当要求孔的轴线与安装面平行,或端面与安装基面垂直时,可用花盘-弯板安装工件,如图 7.14 所示。弯板要有一定的刚度和强度,用于贴靠花盘和安装工件的两个平面应有较高的垂直度。弯板安装在花盘上要仔细找正,在弯板上安装工件时也要仔细找正。用花盘或花盘-弯板安装工件时,由于重心往往偏向一边,需要在另一边加平衡铁,以减少旋转时的振动。

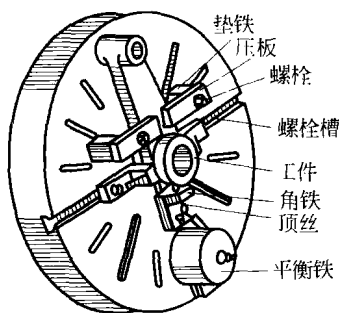


图 7.13 在花盘上安装工件

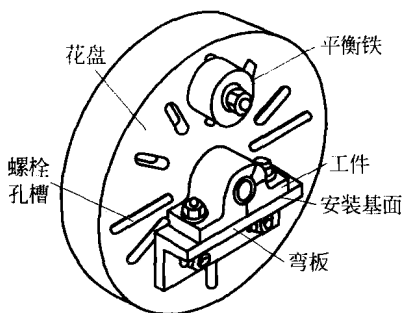


图 7.14 用花盘-弯板安装工件

7.4.6 中心架和跟刀架的使用

加工刚性较差的细长轴时,为防止轴受切削力的作用而产生弯曲变形,需要用中心架或跟刀架支撑工件。

(1) 中心架 中心架用压板和螺栓螺母紧固在床身导轨上。它有 3 个支承爪夹持工件,来支撑工件并提高工件刚度,如图 7.15 所示。支承工件前,先在工件上车出一小段光滑圆柱面(比支承爪宽并留出精车余量),然后调整中心架的 3 个支承爪与其均匀接触,再分段进行车削。对于又重又长的轴,若要车端面或在端面钻孔、镗孔时,就必须用中心架和卡盘

一起支承工件。用中心架车外圆多用于加工长径比大于 25 的细长的阶梯轴。

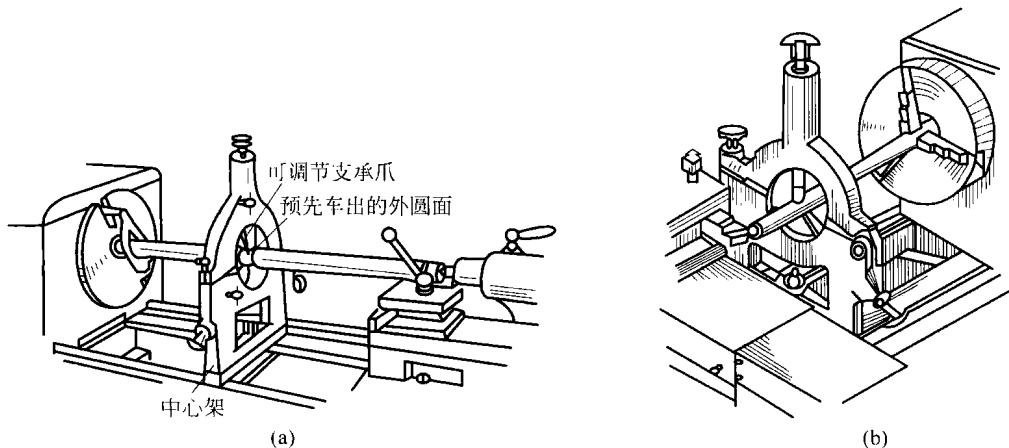


图 7.15 中心架的应用

(a) 用中心架车外圆；(b) 用中心架车端面

(2) 跟刀架 跟刀架与中心架不同,它固定在大拖板上,并随大拖板一起纵向移动。跟刀架上一般只有两个支承爪。使用前需先在工件上靠后顶尖的一端车出一小段外圆,并根据它调节跟刀架的支承,然后再车出工件的全长,如图 7.16 所示。跟刀架多用于加工长径比大于 25 的细长的光滑轴。

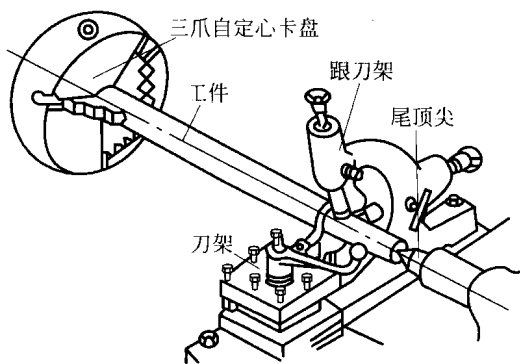


图 7.16 跟刀架的应用

使用中心架和跟刀架时,工件被支承的部分应是加工过的外圆表面,并要加机油润滑。工件的转速不能过高,以免工件与支承之间摩擦过热而烧坏或使支承爪磨损。

7.5 车床操作基础

7.5.1 刻度盘的使用

普通车床的纵向进给、横向进给以及小刀架的移动量均靠刻度盘指示。在车削工件时,要准确、迅速地掌握背吃刀量,必须熟练准确地使用刻度盘。

控制横向进给量的中滑板刻度盘紧固在横向丝杠轴头上,中滑板与丝杠上的螺母紧固在一起。当中滑板手柄带动刻度盘转一周时,丝杠也转一周,这时螺母带动中滑板移动一个螺距。因此,中滑板移动的距离可根据刻度盘上的格数来计算:

刻度盘每转 1 格中滑板移动的距离(刻度盘格值)=丝杠螺距/刻度盘格数

例如,C6136 车床的横向进给丝杠的螺距为 4 mm,刻度盘一周等分 200 格,所以刻度盘每转 1 格中滑板移动的距离(刻度盘格值)为 $4\text{ mm}/200=0.02\text{ mm}$ 。

由于丝杠与螺母之间存在间隙,进刻度时,如果刻度盘手柄摇过了头,或者试切后发现尺寸不对而需将车刀退回时,刻度盘不能直接退回到所要求的刻度。因为当刻度盘正转或反转至同一位置时,刀具的实际位置存在由间隙引起的误差。因此,正确的操作是将刻度盘向相反方向退回半圈左右,消除间隙的影响之后再摇到所需位置,如图 7.17 所示。

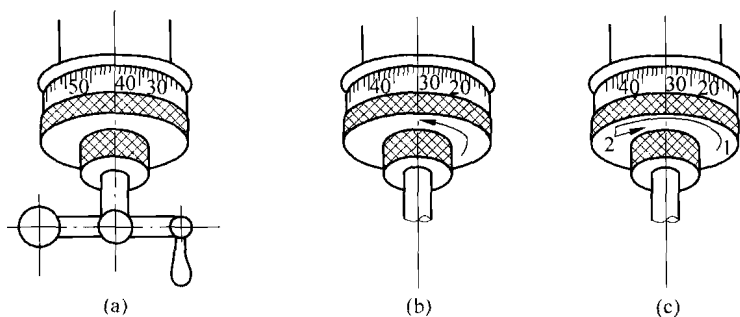


图 7.17 手柄摇过头后的纠正方法

(a) 要求手柄转至 30,但摇过头成 40; (b) 错误: 直接退至 30;

(c) 正确: 反转约一圈后再转至所需位置 30

小滑板刻度盘的原理及其使用与中滑板的相同,其刻度盘主要用于控制工件长度方向上的尺寸。

7.5.2 粗车与精车

车削一个零件往往因加工余量较大而需多次进刀,进刀次数和每次进刀的背吃刀量由加工余量决定。为了保证加工质量和提高生产效率,常把车削加工分为粗车和精车。

粗车的目的是要尽快从工件上切去大部分加工余量,使工件接近最后的形状和尺寸,并作为精加工的预加工。粗车要给精车留有合适的加工余量,而精度和表面质量要求都很低。在生产中,加大背吃刀量对提高生产率最为有利,而对车刀寿命的影响又最小。因此粗车时切削用量的选择原则是首先选用较大的背吃刀量;其次根据可能选择较大的进给量;最后选取中等或偏低的切削速度。粗车的切削力很大,切削用量的选择要注意与所使用车床的刚度、强度和功率相适应。

粗车表面有硬皮的铸件或锻件时,如果背吃刀量太小,刀尖反而容易被硬皮碰坏或磨损。因此,第一刀的背吃刀量应大于硬皮的厚度。

精车的目的是要保证零件的尺寸精度和表面粗糙度要求。粗车留给精车或半精车的加工余量一般为 $0.5\sim 2\text{ mm}$ 。精车要以选取较小的背吃刀量和进给量、很高或很低的切削速度为原则。因较小的进给量可使残留面积减少,有利于降低 R_a 值;同时较大的切削速度或

较小的切削速度都可获得较小的 Ra 值。例如,切削钢件,如采用硬质合金刀具高速切削时,速度取 $100\sim 200\text{ m/min}$;如使用高速钢刀具低速切削时,速度可取 5 m/min 以下。但背吃刀量过小($<0.03\text{ mm}$),工件上原来凹凸不平的表面可能没有完全切除掉而达不到满意的效果。

7.5.3 试切方法及步骤

在半精车和精车时,为了准确确定背吃刀量,保证工件的尺寸精度,只靠刻度盘调整进刀量是不行的。因为刻度盘与丝杠都有误差,往往不能满足半精车和精车的要求,而要采用试切法。试切的方法与步骤如图 7.18 所示。要使用精车刀,试切长度为 $1\sim 3\text{ mm}$,与工件表面轻微接触。

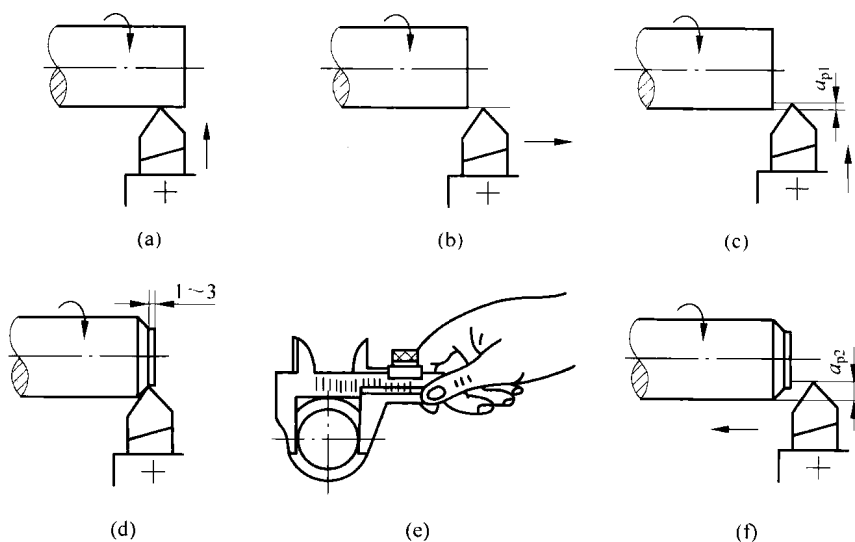


图 7.18 试切方法和步骤

- (a) 开车对刀,使车刀与工件表面轻微接触;(b) 向右退出车刀;(c) 横向进刀 a_{p1} ;
(d) 切削 $1\sim 3\text{ mm}$;(e) 退刀,停车测量;(f) 如果尺寸不到,再进刀 a_{p2}

7.6 车削加工

7.6.1 车外圆和台阶

车削外圆及台阶是车削加工中最基本、最常见的工序。由于技术要求不同所采用的刀具和切削用量都有区别。常见的外圆及台阶车刀有尖刀(直头外圆车刀)、弯头刀、 90° 偏刀、圆头精车刀和宽刃精车刀等。尖刀主要用于粗车外圆和车没有台阶或台阶不大的外圆(见图 7.19(a)),也可用于车倒角。弯头刀用于车外圆(见图 7.19(b))、端面、倒角和有 45° 斜面的外圆。 90° 偏刀车外圆(见图 7.19(c))时因背向力很小,常用来车细长轴和带有垂直台阶的

外圆,也可以车端面。圆头精车刀的刀尖圆弧半径大,用于精车无台阶的外圆(见图 7.19(d))。带垂直台阶的外圆可以用 90° 精车刀车削,采用宽刃精车刀可以得到极小的表面粗糙度。车台阶同车外圆相似,主要区别是控制好台阶的长度及直角,一般采用偏刀车削。

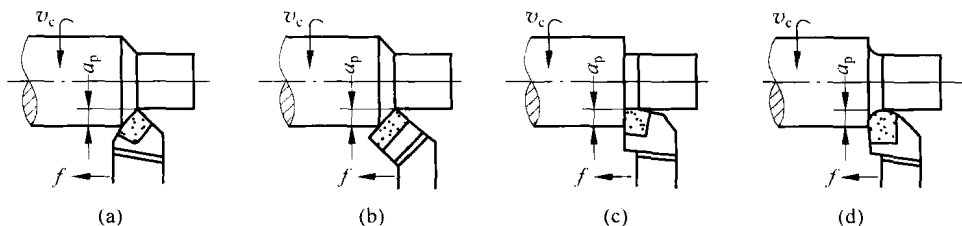


图 7.19 车外圆及车刀

(a) 尖刀车外圆; (b) 弯头刀车外圆; (c) 90° 偏刀车外圆; (d) 圆弧刀车外圆

车削高度小于 5 mm 的低台阶,如图 7.20 所示,可在车外圆时同时车出。为使偏刀的主切削刃与工件轴线垂直,可在先车好的端面上对刀,使主切削刃与端面贴平。一般采用直角尺借助工件外圆的母线找正。长度采用刻线痕方法控制,也就是先用尺子量出所要加工台阶的距离,并用刀尖轻划一个记号,然后参照记号车削。也可以采用大拖板刻度盘控制切削长度。

车高度在 5 mm 以上的台阶时,应分层进行车削,如图 7.21 所示。车刀的安装应使主切削刃与工件轴线成 $93^\circ \sim 95^\circ$,而不再是 90° 。台阶的长度依然用刻线痕法控制,但要留出车直角的余量。

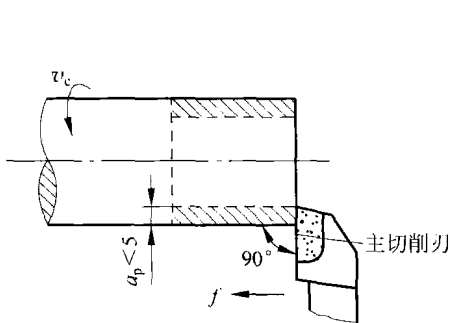


图 7.20 车低台阶

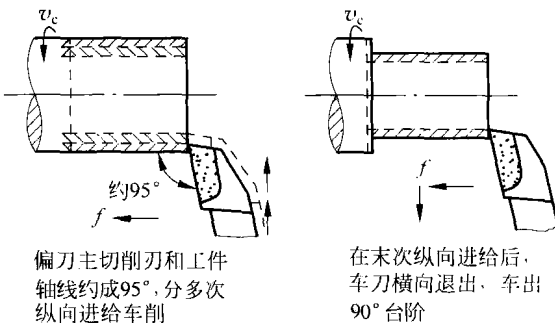


图 7.21 车高台阶

7.6.2 车端面

车端面也是车削加工中最基本、最常见的工序。车端面一般采用弯头刀或右偏刀。弯头刀应用广泛,刀尖强度高,适于车削较大的端面,如图 7.22 所示。使用右偏刀车端面如图 7.23 所示。它有两种进刀方法,两种方法所使用的切削刃以及切削力的方向均不同。

车端面时应注意以下几点。

- (1) 车刀的刀尖应对准工件的中心,以免车出的端面中心留有凸台。
- (2) 偏刀车端面(见图 7.23(a)),当由外缘向中心进刀时,若背吃刀量较大则会使车刀

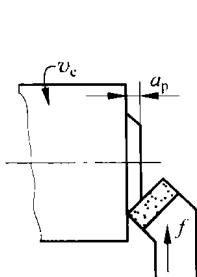


图 7.22 弯头刀车端面

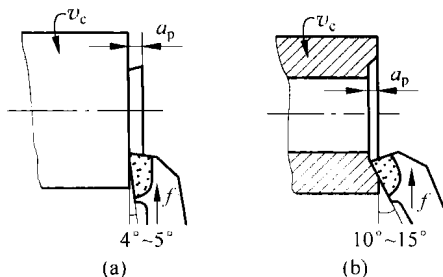


图 7.23 右偏刀车端面

(a) 由外向中心; (b) 由中心向外

扎入工件之中,从而出现凹面。而且到工件中心时是将凸台一下子车掉的,因此容易损坏刀尖。弯头刀车端面,凸台是逐渐车掉的,所以车端面用弯头刀较为有利(见图 7.22)。

(3) 端面的直径从外到中心是变化的,切削速度也是变化的,不易车出较低的表面粗糙度,因此工件的转速可比车外圆时选择得高一些。为降低端面的表面粗糙度,可由中心向外车削(见图 7.23(b))。

(4) 车直径较大的端面,若出现凹心或凸肚时,应检查车刀、方刀架以及大拖板是否松动。为使车刀准确地横向进给而无纵向松动,应将大拖板锁紧在床面上,此时可用小滑板调整背吃刀量。

7.6.3 孔加工

在车床上可用车孔刀、麻花钻、扩孔钻和铰刀进行车孔、钻孔、扩孔和铰孔等孔加工。

(1) 车孔 也称镗孔,是对铸出、锻出或钻出的孔的进一步加工,如图 7.24 所示。可以车通孔、不通孔、台阶孔和内环形孔槽。车孔可以较好地纠正原孔轴线的偏斜,可以进行粗加工、半精加工和精加工。安装车孔刀时伸出的长度要尽量短,要选刀杆较粗的刀,以免产生弯曲变形或振颤。刀尖要装得略高于工件中心,留出变形量,以免产生扎刀现象。由于车孔刀刚度差,容易产生变形与振动,因此车孔时采用较小的进给量和背吃刀量,进行多次走刀,生产率较低。但车孔刀制造简单,通用性强,可加工大直径孔和非标准孔。

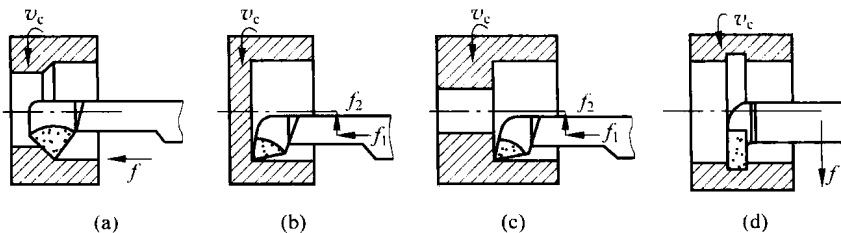


图 7.24 车床上的镗孔加工

(a) 镗通孔; (b) 镗不通孔; (c) 镗台阶孔; (d) 镗内环形孔槽

(2) 钻孔 在工件实体上用麻花钻加工孔。在车床上钻孔时,工件旋转,钻头装在尾架上做纵向进给,如图 7.25 所示。钻孔前要先车平端面,必要时先用短钻头或中心钻在工件

中心预钻出小坑,以免钻偏。由于钻头刚度差,孔内散热和排屑较困难,钻孔时的进给速度不能太快,切削速度也不宜太快,要经常退出钻头排屑冷却。钻钢件时要加切削液,钻铸铁件时一般不加切削液。钻孔的尺寸公差等级为 IT10 以下,表面粗糙度 Ra 值为 $12.5\ \mu\text{m}$,属于孔的粗加工。

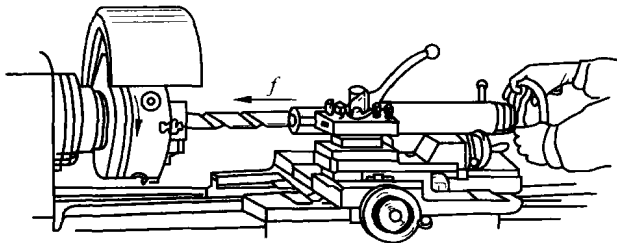


图 7.25 车床钻孔

钻中心孔与钻孔不同的是要使用中心钻,而不是麻花钻。

(3) 扩孔 在钻孔基础上对孔的进一步加工。在车床上扩孔的方法与车床上钻孔相似,所不同的是用扩孔钻,而不是用钻头。因扩孔的余量与孔径大小有关,一般为 $0.5\sim 2\ \text{mm}$,余量较小。扩孔的尺寸公差等级可达 IT10~IT9,表面粗糙度 Ra 值为 $3.2\sim 6.3\ \mu\text{m}$,属于孔的半精加工。

(4) 铰孔 用铰刀作扩孔后或半精车孔后的精加工,其方法与车床钻孔相似。

7.6.4 切槽和切断

(1) 切槽 分为切窄槽和切宽槽两种。 $5\ \text{mm}$ 以下的窄槽可以一次切出,切槽刀的宽度和长度由沟槽尺寸决定。切削宽槽时可按图 7.26 所示的方法切削。

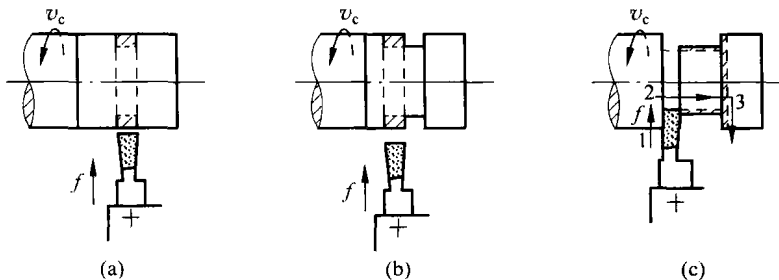


图 7.26 切宽槽的方法

(a) 第一次横向进给; (b) 多次横向进给; (c) 最后精车槽底

(2) 切断 要用切断刀。切断刀的形状与切槽刀相似,因刀头窄而长,很容易折断。切断时一般由卡盘夹持工件,切断部位应距卡盘近些,以免产生振动。刀尖必须与工件回转中心等高,否则切断处将剩有凸台,且刀头也容易损坏,如图 7.27 所示。刀具轴线应垂直于工件的轴线,刀头伸出刀架的长度不宜过长。进给量要均匀,不可过大。在即将切断时,必须放慢进给速度,以免刀头折断。

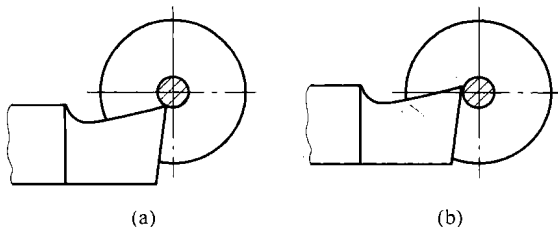


图 7.27 切断刀刀尖位置错误

(a) 切断刀安装过低, 刀头易被压断; (b) 切断刀安装过高, 刀具后刀面顶住工件, 无法切削

7.6.5 车锥面

在机械制造业中, 除采用圆柱体和圆柱孔作为配合表面外, 还广泛采用圆锥体和圆锥孔作为配合表面, 如车床的主轴锥孔及顶尖、钻头、铰刀的锥柄等。这是因为圆锥面配合紧密, 拆卸方便, 且多次拆卸仍能保持准确定心。

1) 圆锥的主要参数

圆锥表面有 5 个基本参数, 如图 7.28 所示。其中, α 为圆锥角 ($\alpha/2$ 为圆锥半角, 也称斜角); C 为锥度; D 为圆锥的大端直径; d 为圆锥的小端直径; L 为圆锥的轴向长度。这 5 个参数的相互关系可表示为:

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \tan \frac{\alpha}{2}$$

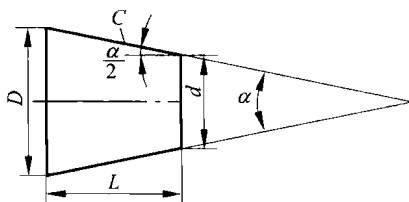


图 7.28 圆锥体的主要参数

2) 车锥度的方法

在车床上车锥度的方法有小拖板转位法、偏移尾架法、机械靠模法、宽刀法、轨迹法等。

(1) 小拖板转位法 根据工件的锥角 α , 将小拖板转过 $\alpha/2$ 后固定, 即可加工, 如图 7.29 所示。这种方法简单, 不受锥度大小的限制, 能保证一定的加工精度, 而且还能车内锥面, 因此应用广泛。但由于受小拖板行程的限制不能加工较长的圆锥, 且不能自动走刀, 用手动进给实现, 劳动强度较大, 表面粗糙度的高低靠操作技术控制, 所以只适宜加工单件小批生产中精度较低和长度较短的圆锥面。

(2) 尾架偏移法 尾架偏移法车锥面如图 7.30 所示, 工件安装在前后顶尖之间, 将尾

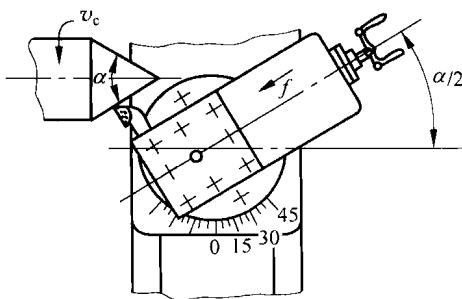


图 7.29 小拖板转位法车锥面

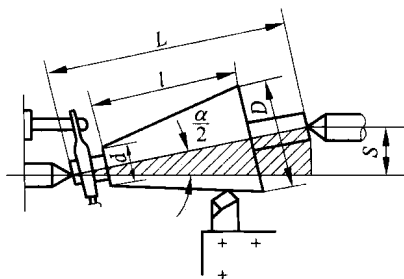


图 7.30 尾架偏移法车锥面

座体相对底座在横向向前或向后偏移一定距离 S , 使工件旋转轴线与车床主轴轴线的夹角等于圆锥半角 $\alpha/2$, 当刀架自动 (亦可手动) 进给时即可车出所需的圆锥面, 劳动强度低。此方法只适宜加工在顶尖上安装的较长的、锥角较小 ($\alpha < 16^\circ$) 的外锥面。

尾座偏移量为

$$S = L \times \alpha/2 = L \times (D - d)/(2l) = L \tan \frac{\alpha}{2}$$

式中, L 为工件长度, mm; l 为工件锥度部分轴向的长度, mm。

(3) 机械靠模法 机械靠模法是将机械靠模装置固定在床身后面, 如图 7.31 所示。底座上装有锥度靠模板, 它可绕中心轴旋转到与工件轴线交成所需要的角度, 滑块在靠模板导轨上可自由滑动, 并通过螺钉与中拖板固定在一起。将刀架中拖板螺母与横向丝杠脱开, 当大拖板自动 (亦可手动) 纵向进给时即可车出所需锥面。机械靠模法适宜加工成批和大量生产中精度要求较高、长度较长、锥度较小 ($\alpha/2 < 12^\circ$) 的内外锥面。

(4) 宽刀法 对于长度较短的圆锥成批加工时可将刀刃磨至平直, 且与工件轴线夹角等于圆锥半角 $\alpha/2$, 利用手动进给直接车出, 如图 7.32 所示。此法径向力大, 容易引起振动, 要求工件和车刀的刚度要好, 但生产率较高。

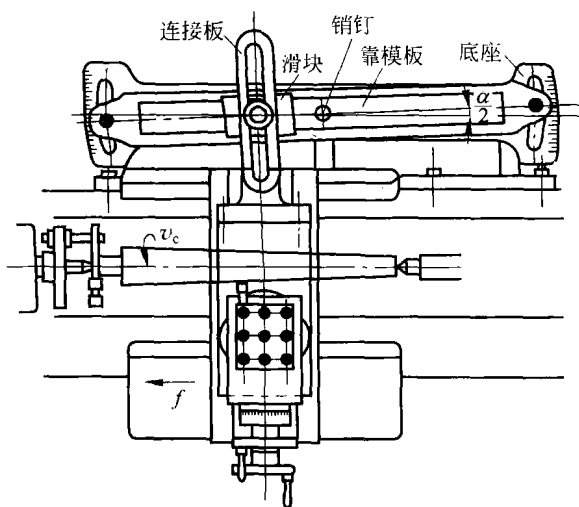


图 7.31 用靠模板装置车圆锥面

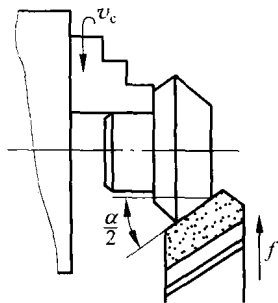


图 7.32 宽刀法车锥面

(5) 轨迹法 数控车床上, 车刀可根据编制的程序走出圆锥母线的轨迹, 车出工件的圆锥。

7.6.6 车回转成形面

回转成形面是由一条曲线 (母线) 绕一固定轴线回转而成的表面, 如手柄和圆球等。回转成形面车削的方法有以下几种。

(1) 双手控制法 车削时, 可用双手同时摇动中滑板和小滑板 (或大拖板) 的手柄进行纵向和横向进给, 使刀尖的运动轨迹与工件成形面的母线轨迹相符, 如图 7.33 所示。加工时需多次车削和度量, 最后还需用锉刀进行修整, 才能得到所需的精度和表面粗糙

度。车成形面一般使用圆头车刀,用样板反复检验,如图 7.34 所示。这种方法要求熟练的操作技术,生产效率低,但不需要特殊的设备,生产中仍被普遍采用,多用于单件小批量生产中。

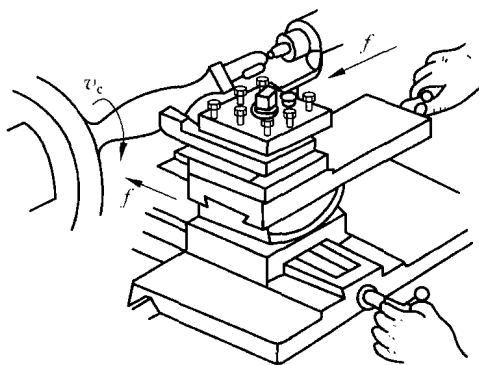


图 7.33 双手控制法车成形面

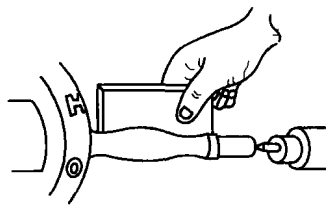


图 7.34 用样板度量成形面

(2) 成形车刀法 它与宽刀法车锥面类似,所不同的是刀刃不是直线而是曲线,与工件的表面轮廓形状相一致,如图 7.35 所示。由于车刀与工件接触面积较大,易振动,应选用较低的转速和小进给量。此方法生产率高,由于成形刀的刀刃不能太宽,刃磨出的曲线形状也不十分准确,故适用于生产批量大、轴向长度短、形状比较简单、要求不太高的成形面。

(3) 靠模法 它与靠模法车锥面类似,所不同的是靠模槽的形状不是斜槽,而是与成形面母线相符的曲线槽,并将滑块换成滚柱,如图 7.36 所示。靠模安装在床身后面,中拖板螺母与横向丝杠必须脱开。当大拖板纵向自动进给时,滚柱即沿靠模的曲线槽移动,从而使车刀刀尖也随之作曲线移动而车出所需要的成形面。此法操作简单、生产率高,但需制造专用模具,适用于成批生产、轴向长度长、形状简单的成形面。

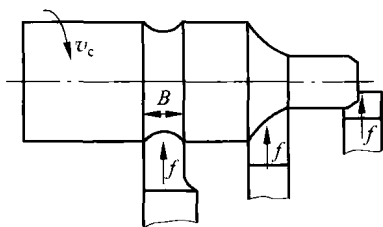


图 7.35 成形车刀车成形面

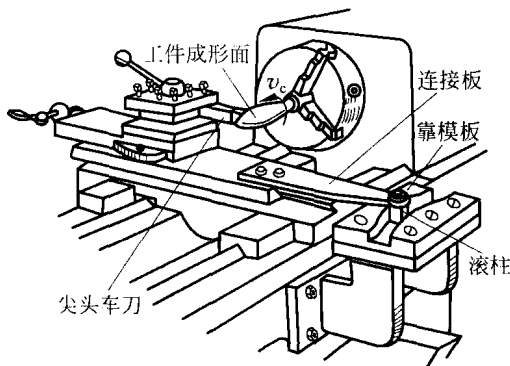


图 7.36 靠模法车成形面

7.6.7 车螺纹

螺纹的应用很广泛,种类也很多。按牙型分有三角螺纹、矩形螺纹、梯形螺纹、锯齿形螺纹和圆弧螺纹等。按螺距分有公制、英制、模数螺纹。螺旋线有左旋和右旋之分。其中以公

制右旋三角螺纹应用最广。

1. 普通螺纹三要素

公制右旋三角螺纹简称普通螺纹,其基本牙型如图 7.37 所示。决定螺纹形状尺寸的牙型、中径 $d_2(D_2)$ 和螺距 P 为基本要素,称为螺纹三要素。

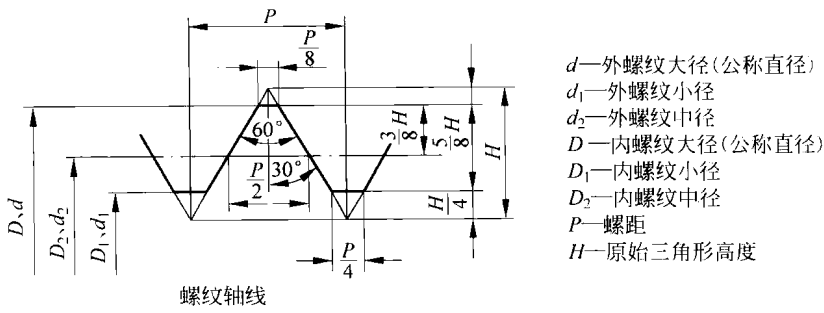


图 7.37 普通螺纹的基本牙型和参数

(1) 牙型角 α 在通过螺纹轴线的剖面上,螺纹两侧面间的夹角。牙型角 α 应对称于轴线的垂线,即两个牙型半角 $\alpha/2$ 必须相等。公制三角螺纹牙型角 $\alpha=60^\circ$;英制三角螺纹 $\alpha=55^\circ$ 。

(2) 螺距 P 相邻两牙对应点的轴向距离。公制螺纹的螺距以 mm 为单位;英制螺纹的螺距以每英寸牙数来表示。

(3) 螺纹中径 $d_2(D_2)$ 螺纹的牙厚与牙间宽相等处的圆柱直径。中径是螺纹的配合尺寸,只有当中径一致时,两者才能很好的配合。

车削螺纹时,必须使上述三个要素都符合要求,螺纹才能是合格的。内外螺纹只有当三个要素一致时,才能配合良好。

2. 车削螺纹

各种螺纹车削的基本规律大致相同。现以车削普通螺纹为例加以说明。

1) 保证牙型

为了获得正确的牙型,需要正确刃磨车刀和安装车刀。

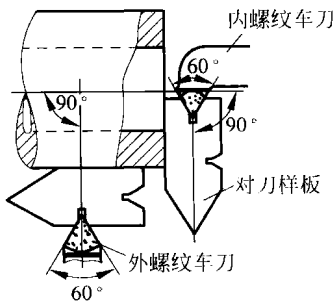


图 7.38 内外螺纹车刀的对刀方法

刃磨车刀时,必须保证车刀切削部分的形状与螺纹沟槽截面形状相吻合,即车刀的刀尖角等于牙型角 α ;同时保证车刀背角 $\gamma_P=0^\circ$ 。粗车螺纹时,可使用带正前角的车刀,以改善切削条件;但精车时一定要使用背角 $\gamma_P=0^\circ$ 的车刀。

安装车刀时,车刀刀尖角的平分线必须垂直于工件的轴线,所以常用对刀样板对刀;同时车刀刀尖必须与工件的回转中心等高。内外螺纹车刀的对刀方法如图 7.38 所示。

2) 保证螺距

为了获得所需要的工件螺距 P_T ,必须正确调整车床和

配换齿轮,而且在车削过程中避免乱扣。

(1) 调整车床和配换齿轮的目的是保证工件与车刀的正确运动关系,即保证主轴带动工件转一转时,车刀纵向移动的距离等于工件螺距 P_L 。车刀由丝杠带动,为保证上述关系,因 $P_L = (P_{丝}/P_{丝}) \cdot P_{丝}$,即要求得到丝杠与主轴的转速比 $P_L/P_{丝}$,这主要决定于配换齿轮 a 、 b 、 c 、 d 的齿数和进给箱里传动齿轮的齿数。其计算公式为

$$i = \frac{n_{丝杠}}{n_{主轴}} = i_{配} \times i_{进} = \frac{z_d}{z_b} \times \frac{z_c}{z_d} \times i_{进} = \frac{P_L}{P_{丝}}$$

加工前根据工件的螺距 P_L ,查机床上的标牌,然后调整进给箱上的手柄位置及配换挂轮箱齿轮的齿数以获得所需的工件螺距。

(2) 车螺纹时,需经过多次走刀才能切成。在多次走刀中,必须保证车刀总是落在第一次切出的螺纹槽内,否则就叫乱扣。如果乱扣,工件即成废品。如果车床丝杠的螺距是工件螺距的整数倍时,可任意打开开合螺母,当再合上开合螺母时,车刀仍会落入原来已切出的螺纹槽内,不会乱扣。如果车床丝杠的螺距不是工件螺距的整数倍时,则会产生乱扣,此时一旦合上开合螺母,就不能再打开,纵向退刀须开反车退回。在车削过程中,如果换刀或乱扣,则应重新对刀。对刀是指闭合开合螺母,移动小刀架,使车刀落入已切出的螺纹槽内。由于传动系统有间隙,对刀须在车刀沿切削方向走一段距离,待平稳停车后再进行。

3) 保证螺纹中径

螺纹中径是靠多次进刀来保证的。进刀的总背吃刀量可根据计算的螺纹工作牙高,由横向刻度盘作大致控制,还要借助螺纹量规来测量。测量外螺纹用螺纹环规,测量内螺纹用螺纹塞规。螺纹精度要求不高或单件加工且没有合适的螺纹量规时,也可用配合件进行检验。

4) 车螺纹的方法

车削螺纹最常用的方法是正反车法,以车外三角螺纹为例,其步骤如图 7.39 所示。

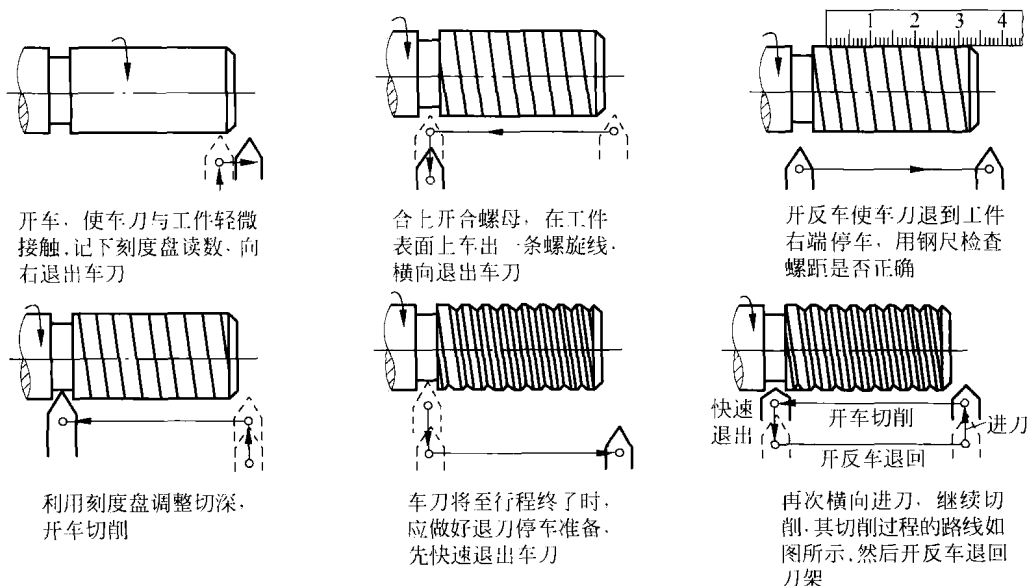


图 7.39 螺纹的车削方法与步骤

车内螺纹的方法和步骤与车外螺纹类似,先车出内螺纹的小径,再车螺纹。对于公称直径较小的内外螺纹,也可以在车床上用丝锥攻螺纹,用板牙套螺纹。

7.6.8 滚花

某些工具和机器零件的手握部分(如绞杠扳手及螺纹量规等),为了便于手握和增加美观,常在表面上滚出各种不同的花纹,称为滚花。

滚花是在车床上用滚花刀挤压工件,使其表面产生塑性变形而形成花纹的工艺,如图 7.40(a)所示。花纹有直纹和网纹两种,滚花刀也分直纹滚花刀和网纹滚花刀;按滚花刀的轮子数量又可分为单轮滚花刀、双轮滚花刀和三轮滚花刀,如图 7.40(b)、(c)、(d)所示。滚花的径向挤压力很大,因此加工时工件的转速应低些,一般还要加切削液冷却润滑,以免研坏滚花刀和防止细屑堵塞滚花刀纹路而产生乱纹。

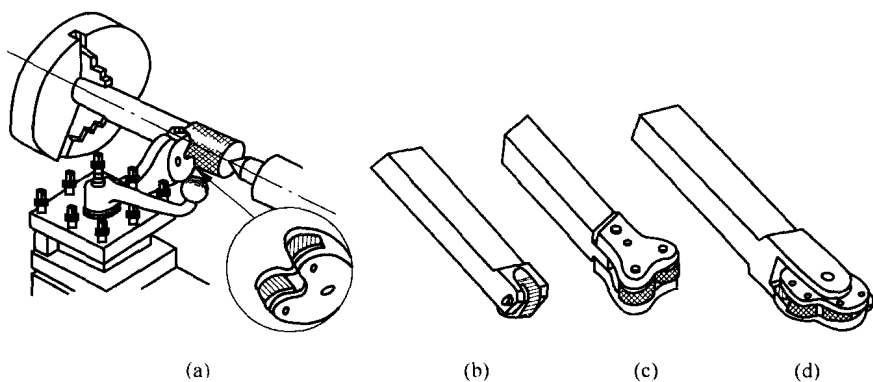


图 7.40 滚花方法及滚花刀

(a) 滚花方法; (b) 单轮滚花刀; (c) 双轮滚花刀; (d) 三轮滚花刀

7.7 典型零件的车削工艺

在切削加工中,由于零件是由多个表面组成的,零件从毛坯到成品往往需经过若干个加工步骤才能完成。零件形状愈复杂,精度、表面粗糙度要求愈高,需要的加工步骤也就愈多。车削加工的零件,有时还需经过铣、刨、磨、钳和热处理等工种才能完成。因此,制定零件机械加工工艺时,必须综合考虑,合理安排加工步骤。

在轴类零件和盘套类零件的加工中,车削是最基本的加工方法。在精度要求不十分高的情况下,车削可以完成全部加工内容,对要求很高的零件,粗车、半精车后常常再磨削,故车削工艺是整个工艺过程的重要组成部分。下面以轴类为例介绍零件的车削工艺。

轴类零件主要用来安装传动零件(如齿轮、皮带轮)来传递运动和扭矩,其各表面的尺寸精度、表面粗糙度和位置精度(主要是各外圆对轴线的同轴度和台肩端面对轴线的垂直度)要求较高,长度和直径的比值也较大,加工时不可能一次加工出全部表面,往往要多次调头

安装,多次加工才能完成。为了保证零件的安装精度,并且安装要方便可靠,轴类零件一般都采用顶尖安装。图 7.41 所示的轴,其加工工艺过程如表 7.1 所示。

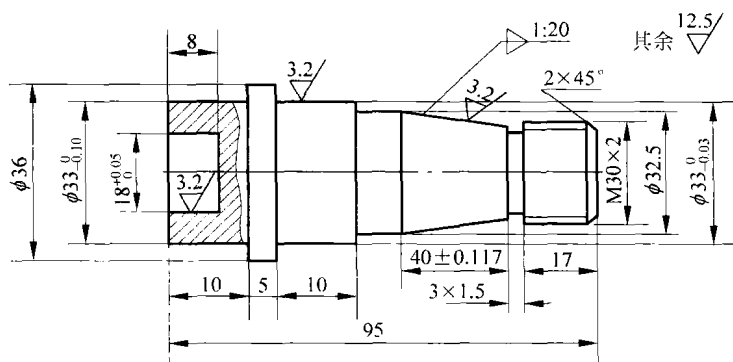
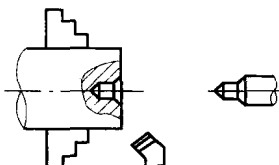
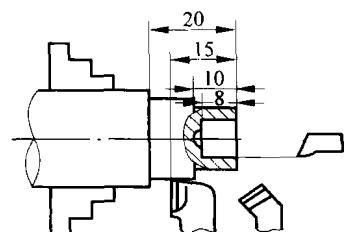
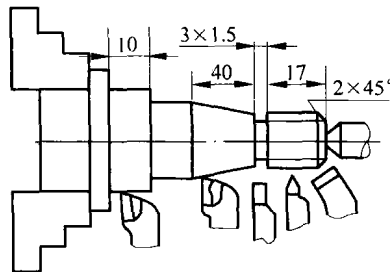


图 7.41 短轴(材料:低碳钢)

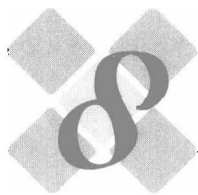
表 7.1 轴的车削工艺过程

加工顺序	加工内容	加工简图	安装方法	刀具
1	下料 $\phi 40 \times 100$			
2	车端面见平; 钻 $\phi 2.5$ 中心孔		三爪自定心卡盘	45° 弯头车刀、中心钻及钻夹头
3	调头, 车端面保证总长 95; 粗车外圆 $\phi 36 \times 20$, 并在离端面 15 mm 处用刀尖刻印痕; 粗车、半精车外圆 $\phi 33_{-0.10}^0 \times 10$; 钻孔 $\phi 15 \times 9$, 再镗孔 $\phi 18_{-0.05}^{+0.05} \times 8$		三爪自定心卡盘	45° 弯头车刀、右偏刀、 $\phi 15$ 的麻花钻、镗刀
4	调头, 粗车外圆 $\phi 35 \times 79$, 粗车 $\phi 33.5 \times 79$, 粗车 $\phi 32.5 \times 70$, 粗车 $\phi 30.5 \times 20$; 依次精车 $\phi 30_{-0.15}^{+0.10} \times 20$ 、 $\phi 33_{-0.03}^0 \times 10$; 车圆锥; 切槽、倒角; 车螺纹 M30 $\times 2$; 去毛刺		三爪自定心卡盘、活顶尖	右偏刀、切槽刀、45° 弯头车刀、螺纹车刀、锉刀
5	检验			

复习思考题

1. 车削的运动特点和加工特点是什么？车削的主运动和进给运动是什么？
2. 什么叫切削用量？单位是什么？
3. 哪些类型的零件选用车削加工？车削能完成哪些表面加工？各用什么刀具？
4. 说明 C6140 型车床代号的意义。
5. 卧式车床主要由哪几部分组成？各部分有何作用？
6. 常用的车刀材料主要有哪几类？每类举出两个牌号。
7. 安装车刀应注意哪些事项？
8. 车床上安装工件的方法有哪些？各适用于加工什么样的零件？
9. 车外圆时有哪些装夹方法？
10. 车外圆时为什么要分为粗车和精车？粗车和精车应如何选择切削用量？
11. 车窄槽和宽槽的方法有何不同？
12. 一般阶梯轴上的几个退刀槽的宽度都相等，为什么？退刀槽的作用是什么？
13. 车床上钻孔与钻床上钻孔有什么不同？车床上如何钻孔？
14. 车锥度的方法有哪几种？
15. 在卧式车床上钻孔时为什么要先车平端面？
16. 卧式车床上加工孔的方法有哪几种？（举出 3 种）
17. 卧式车床上车削无内孔工件的端面时，车刀刀尖为什么一定要对准工件的轴线？
18. 卧式车床上加工螺纹时，主轴转速的快慢是否影响加工工件螺距的大小？为什么？
19. 常用车床附件有哪些？
20. 加工螺纹时，必须满足的运动关系是什么？怎样满足这个关系？
21. 已知锥度 $C=1:10$ ，工件长度 $L=100$ ，若采用偏移尾架法车锥度，试求尾架偏移量。
22. 何谓成形面？车床上加工成形面有几种方法？各适用于什么情况？
23. 车削细长轴时，常采用哪些增加刚性的措施以保证质量？为什么？
24. 车螺纹时能否使用光杠代替丝杠工作？为什么？
25. 采用尾架偏移法车锥面有什么局限性？
26. 采用小刀架转位法车锥面有什么优缺点？

钳工与产品拆装



8.1 概 述

钳工是以手持工具操作为主对工件进行加工的方法,是机械制造中装配、调试和维修的重要工种。在某些情况下,钳工加工不仅比机械加工灵活、经济、方便,而且更容易保证产品的质量。但是钳工劳动强度大、生产效率低,对工人的技术水平要求较高。

钳工加工方法有:划线、锯削、錾削、刮削、研磨、孔加工、螺纹加工及设备装配、修理等。

8.1.1 工艺特点及其应用范围

钳工的特点是所用设备和工具简单,加工方式多样灵活。

钳工的应用范围如下:

- (1) 零件加工前的准备工作,如毛坯清理、去毛刺、划线等;
- (2) 单件或小批量生产的零件加工,如钻、扩、铰孔、攻螺纹、套螺纹、铰削和锯削等;
- (3) 零件、量具的精密加工,如零件、模具、夹具、量具配合表面的刮削、研磨和修配抛光等;
- (4) 机器产品的装配、调试和维修等。

8.1.2 常用设备

1. 钳工台和台虎钳

钳工工作经常在钳工台和平板上进行,钳工台上装有台虎钳。

钳工台(如图 8.1 所示)是钳工操作的重要设备和场地,钳工台用硬木材、钢板、角钢和防护网等组成,高度为 800~900 mm,其上装有台虎钳(如图 8.2 所示)和防护网。

台虎钳的主要作用是固定工件,方便钳工操作。台虎钳钳口的最大宽度有:100、125、150 和 200 mm。台虎钳多数可旋转,根据需要旋转时松开夹紧手柄,使上钳体转到合适位置,再锁紧夹紧手柄。安装工件时,应尽可能将工件夹在钳口的中部,以使钳口、工件受力均匀。

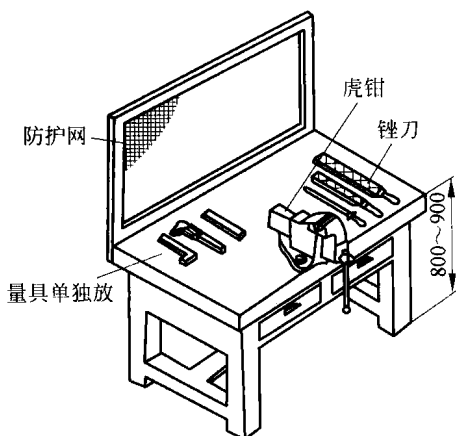


图 8.1 钳工台

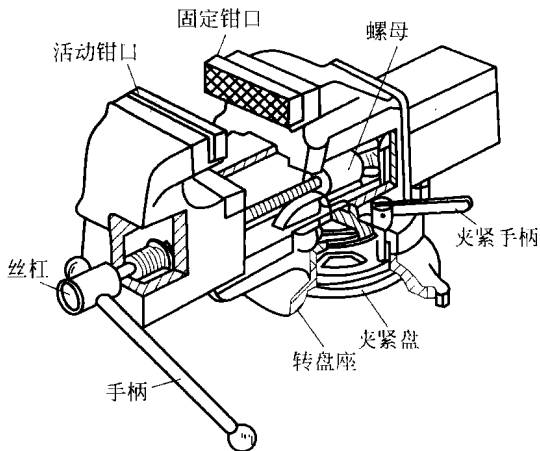


图 8.2 台虎钳

2. 钻床

钳工在加工零件时通常需要钻孔,常用的钻床有台式钻床、立式钻床、摇臂钻床和手电钻。

(1) 台式钻床(如图 8.3 所示)是放在工作台上使用的钻床。钻孔直径一般为 $\phi 1 \sim 13 \text{ mm}$ 。台钻主轴下端带有钻夹头,用来安装钻头。主轴转速通过变换三角带在带轮上的位置来调节,进给运动通过手动可使钻头上、下作直线运动。台钻常用于单件、小件孔加工。

(2) 立式钻床(如图 8.4 所示)以主轴为竖直布局,简称为立钻。其规格以加工的最大直径表示,常用的有 25、35、40、50 mm 等几种。立式钻床电动机的运动通过主轴变速箱和进给箱,得到主轴所需的转速和多种进给运动。进给运动既可手动也可自动。工作台用以安装工件,可作手动升降调整。由于主轴相对工作台的位置是固定的,加工多孔工件时需要移动工件来完成。

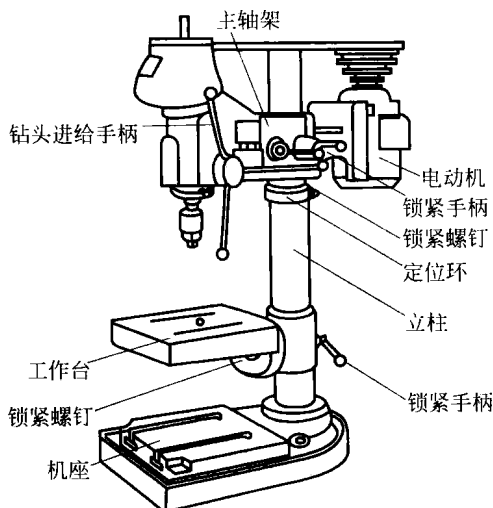


图 8.3 台式钻床

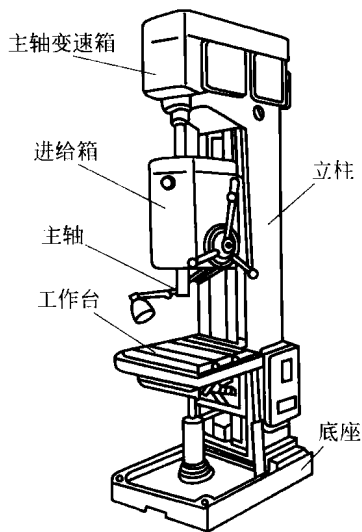


图 8.4 立式钻床

(3) 摇臂钻床(如图 8.5 所示)的主轴箱能沿着摇臂导轨作水平移动,而摇臂又能绕立柱旋转 360° 和沿立柱上下移动,工件固定在工作台或机座上。摇臂钻床适用于大型、复杂及多孔工件上各类型的孔加工,可以方便地将刀具调整到所需的位置加工孔。

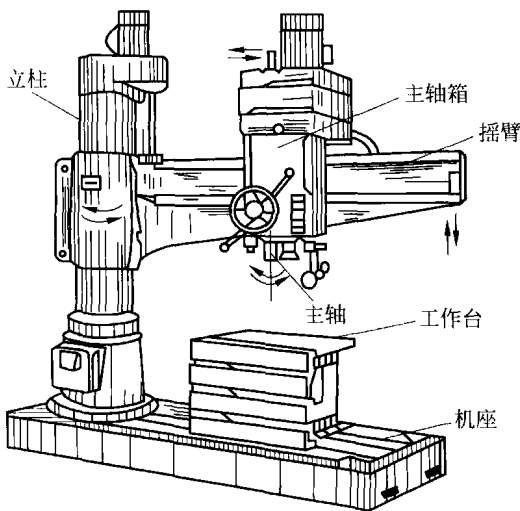


图 8.5 摇臂钻床

(4) 手电钻一般用于不方便使用钻床的场合,钻 $\phi 12\text{ mm}$ 以下的孔。手电钻的电源有 220 V 和 380 V 两种,它携带方便、操作简单、使用灵活、应用广泛。

8.2 划 线

划线是根据图纸要求,在毛坯或半成品上划出界线或找正线的一种操作方法。

8.2.1 划线的用途和方法

1. 划线的用途

- (1) 通过划线判断毛坯的形状和尺寸是否合格;
- (2) 划出作为下道工序加工的依据;
- (3) 确定正确的加工位置。

2. 划线的方法

- (1) 平面划线 在工件的一个表面上划线(见图 8.6(a))。
- (2) 立体划线 在工件的几个表面划出所需的线条(见图 8.6(b)),多数是在工件的长、宽、高等方向上划线。

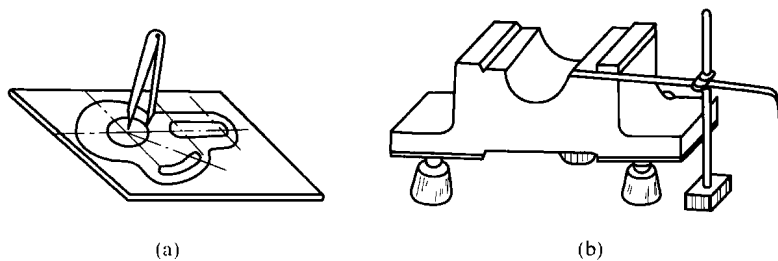


图 8.6 平面划线和立体划线
(a) 平面划线；(b) 立体划线

8.2.2 划线工具和划线实例

1. 划线工具

常用的划线工具有平板、千斤顶、V形铁、方箱、划线盘、划卡、划规、高度游标尺等，如图 8.7 所示。

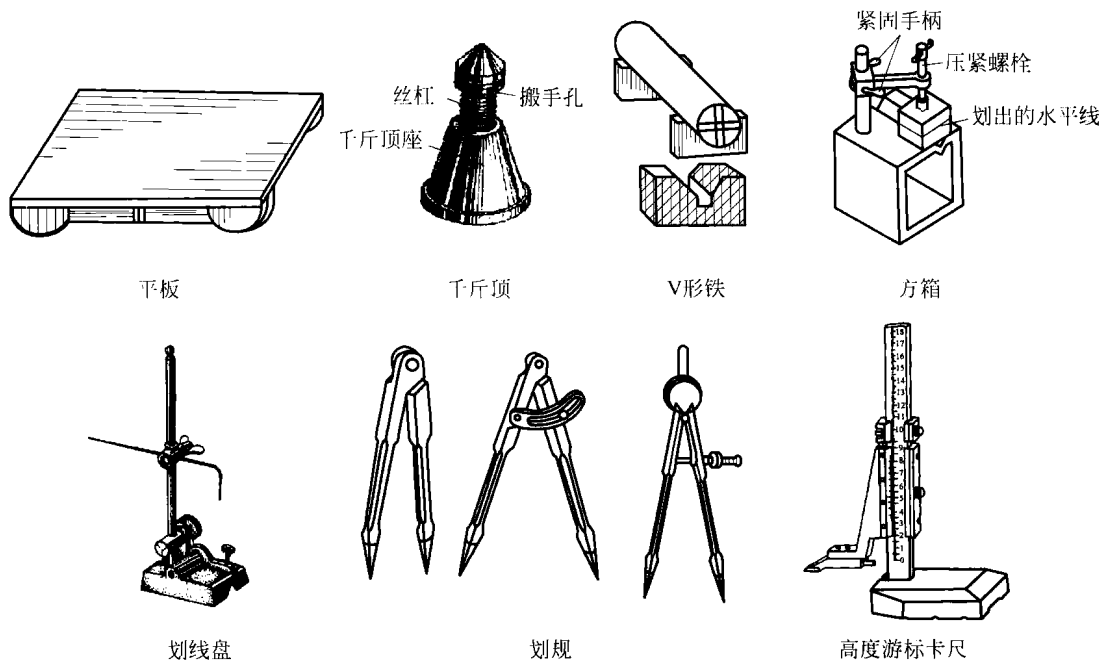


图 8.7 划线工具

2. 划线基准

对照图纸确定其他点、线、面的位置，划线基准应与设计基准尽量一致，划中心线如图 8.8 所示。

3. 划线方法

(1) 在划线部位涂上一层薄而均匀的涂料。毛坯用石灰水；已加工面用紫色涂料(龙胆紫加虫胶和酒精)或绿色涂料(孔雀绿加虫胶和酒精)。以此为根据来找定其他加工表面的位置。

(2) 支承工件。常用方法有：用划线平板，千斤顶，V形铁和方箱等支承。

(3) 立体划线。先划工件同一表面上的水平线，翻转工件划另一表面上的水平线。划完后经检查合格，再打样冲眼(见图 8.9)。

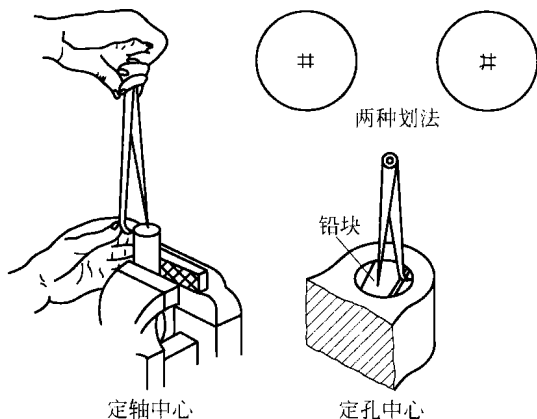


图 8.8 用划规找圆心

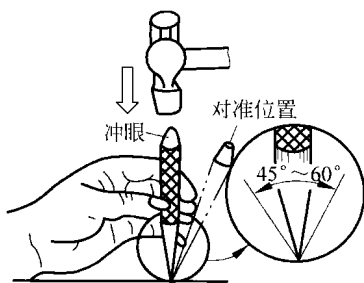


图 8.9 样冲及使用

4. 划线实例(以轴承支架划线为例)

(1) 根据图纸要求，在待加工表面即划线部位涂上一层薄而均匀的涂料，把轴承支架放在平板的千斤顶上，采用三个千斤顶便于工件调整水平，如图 8.10(a)所示；

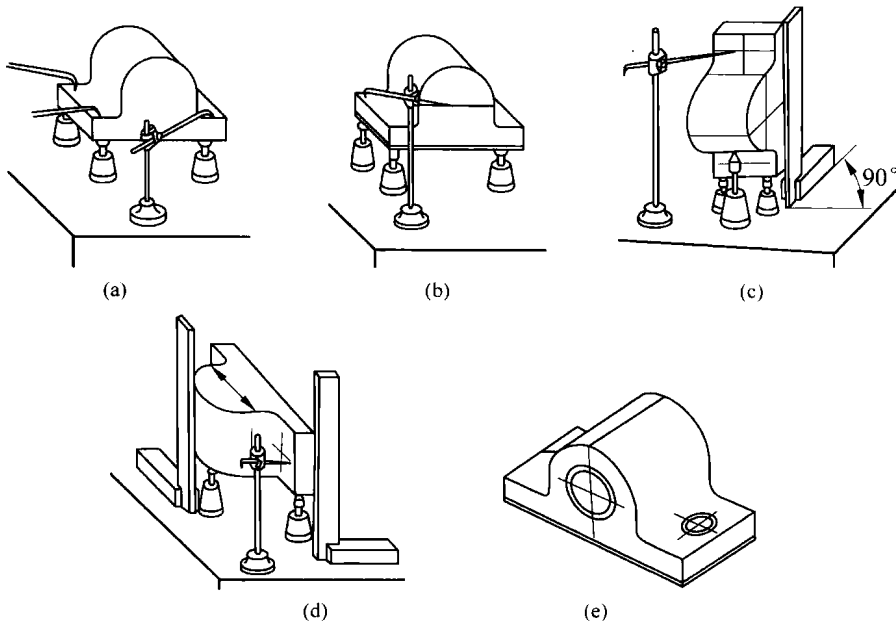


图 8.10 轴承座划线步骤

- (2) 先划出各水平线,如图 8.10(b)所示;
- (3) 把工件翻转 90° ,找正,再划水平线,注意和上个水平线垂直,如图 8.10(c)所示;
- (4) 工件再翻转 90° ,同理,划水平线,如图 8.10(d)所示;
- (5) 把工件放平,打样冲孔,划圆孔线,如图 8.10(e)所示。

8.3 锯 削

1. 手锯

手锯是手工锯削的工具,由锯弓和锯条两部分组成(见图 8.11)。常用锯弓可根据锯条的长短进行调节。

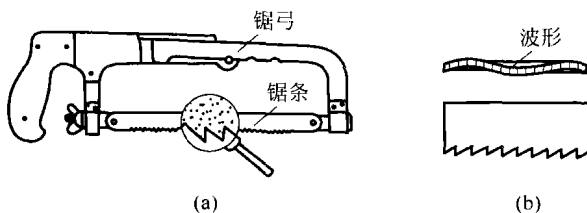


图 8.11 手锯的结构

锯条用碳素工具钢和高速工具钢制成,锯齿硬而脆。常用锯条规格为长 300 mm,宽 12 mm,厚 0.8 mm。锯齿的形状如图 8.11(b)所示,锯齿按齿距 t 大小分为三种,见表 8.1。加工时可参照此表选择锯条。每个齿相当于一把小刨刀,起切削作用。锯齿的排列多为波形,以减小工件锯口两侧与锯条间的摩擦。安装锯条时,齿尖应背向手柄与手锯推进方向一致(见图 8.11(a)),松紧要适度,不能歪斜和扭曲,否则锯削时容易折断。

表 8.1 锯齿粗细划分及用途

锯齿粗细	齿距 t /mm	应 用
粗齿	1.6	低碳钢、铝、紫铜等软金属,木材、薄板等
中齿	1.2	中等硬度材料,如 45 中碳钢等
细齿	0.8	高碳钢等硬材料

2. 锯削的步骤和方法

(1) 根据工件材料选择锯条,可参见表 8.1 选择。

(2) 在虎钳上夹紧工件,工件伸出要短,右手握住锯柄,锯条要与锯削工件表面垂直,起锯角 α 约小于 15° (见图 8.12(a))。当锯削出锯口后,锯条应逐渐改作水平直线往复运动(见图 8.12(b))。

(3) 锯削向前推时加压要均匀,返回时锯条从工件上轻轻滑过,不应加压和摆动。当工件快锯断时用力要轻,行程要短,速度要放慢,以防碰伤手和折断锯条。锯削圆钢和锯削平面方法略有不同。

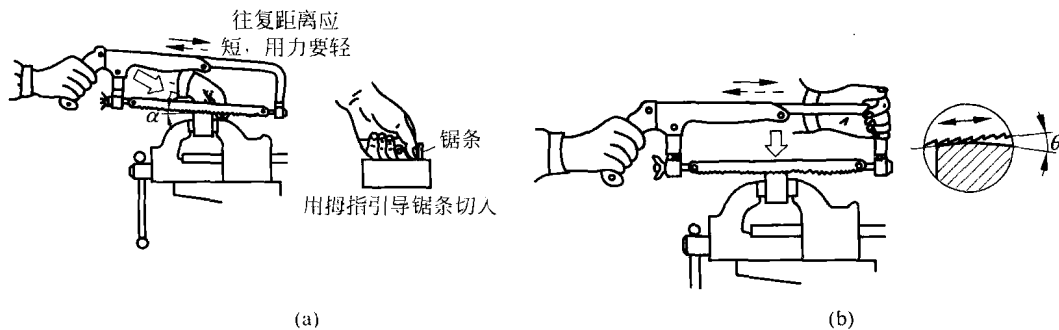


图 8.12 锯削动作

3. 锯削实例

(1) 锯削圆形实心工件：为了得到整齐的断面，锯削从开始一个方向锯到结束，如图 8.13(a)所示。

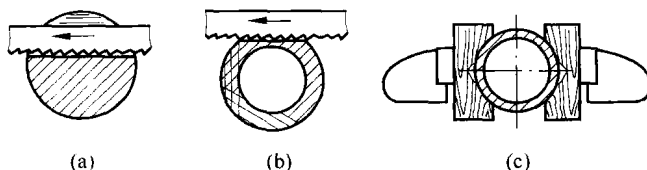


图 8.13 圆形工件的锯削

(a) 圆钢的锯削；(b) 圆管的锯削；(c) 薄壁管的锯削

(2) 锯圆管工件时，锯削到管内壁后，将工件旋转一定角度，再继续锯削，如图 8.13(b)所示；锯削薄壁管子时，须将工件夹持在辅助夹具(如两块 V 形木衬垫)中，且夹紧力不要过大，如图 8.13(c)所示，然后再进行锯削。

(3) 锯削平面工件，如图 8.14 所示。

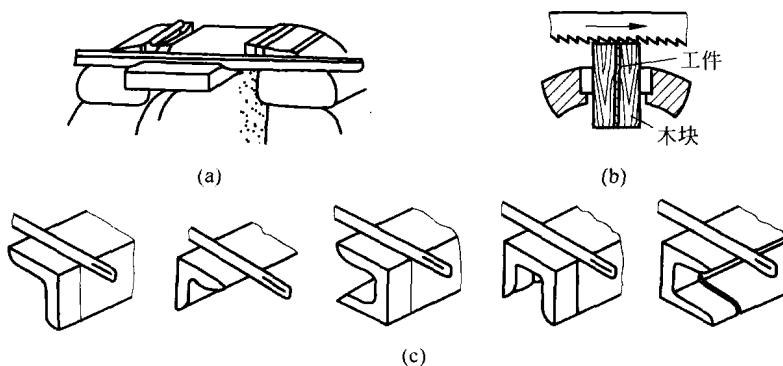


图 8.14 平面工件的锯削

(a) 锯削厚件；(b) 锯削薄件；(c) 型钢的锯削

① 锯削工件厚度超过锯弓高度时，可根据情况锯大平面，或者将锯条旋转 90° 安装，如图 8.14(a)所示。

② 锯薄件从宽面起锯,以使锯缝浅而且整齐。锯削薄板工件时,应将薄板工件夹在两木块之间,如图 8.14(b)所示,以防振动和变形。

③ 锯削型钢的方法与扁钢基本相同,当一面锯穿后,应改变工件的夹持位置,始终保持从宽面起锯。图 8.14(c)为各类型钢锯削实例。

8.4 锉 削

锉削是用锉刀去除工件表面多余材料的加工方法。一般用于锯削和锯削之后或修配零件的加工。锉削表面粗糙度可达到 $Ra0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。锉削是钳工的基本操作,锉削加工范围广、加工余量小、劳动强度大,可加工平面、曲面、内外圆弧面沟槽和各种复杂表面等。

8.4.1 锉刀结构及种类

1. 锉刀的结构

锉刀常用材料为 T12A 或 T13A。采用热处理淬硬锉齿,锉刀由锉面、锉边和锉柄组成,锉刀的齿纹有单齿纹和双齿纹两种(见图 8.15)。双齿纹的刀齿交叉排列,一般比较常用,锉齿形状如图 8.16 所示。其规格用工作部分的长度表示,如 100、150、…、400 mm 等。

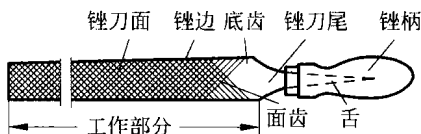


图 8.15 锉刀的组成

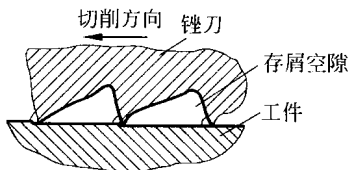


图 8.16 锉齿形状

2. 锉刀的种类

锉刀按用途分为：普通锉、特种锉、整形锉三种。

普通锉按断面形状分为：平锉(又称板锉)、方锉、半圆锉、三角锉等,在生产中根据被加工零件的形状来选择锉刀,如图 8.17 所示。

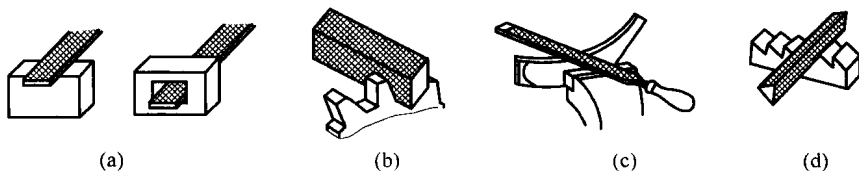


图 8.17 锉刀种类及选用

(a) 平锉; (b) 方锉; (c) 半圆锉; (d) 三角锉

锉刀的粗细是按每 10 mm 长度锉面上齿数的多少进行划分,分为粗齿、中齿、细齿和油光齿。其特点和适用范围如表 8.2 所示。

表 8.2 锉刀刀齿粗细及特点和应用

锉齿粗细	10 mm 长度内齿数	特点和应用	加工余量/mm	表面粗糙度 R_a 值/ μm
粗齿	4~12	适宜粗加工或锉铜、铝等有色金属	0.5~1	50~12.5
中齿	13~24	齿间距中, 适宜于粗锉后加工	0.2~0.5	6.3~3.2
细齿	30~40	锉光表面或锉硬金属(钢、铸铁等)	0.05~0.23	1.6
油光齿	50~62	精加工时, 修光表面	0.05 以下	0.8

3. 锉削的操作方法

锉削方法分为：交叉锉、顺向锉、推锉和滚锉四种方法，见图 8.18。

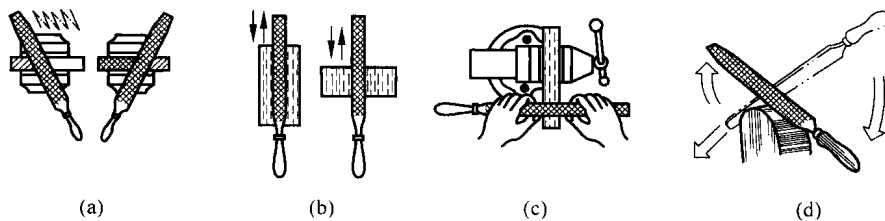


图 8.18 常用的锉削方法

(a) 交叉锉法；(b) 顺向锉法；(c) 推锉法；(d) 滚锉法

(1) 交叉锉法 对工件表面以交叉两个方向顺序进行锉削，如图 8.18(a)所示。锉削时依次自左向右进行，完成整个表面的锉削后，进行下一层锉削平面的锉削。交叉锉法去屑快、加工余量大、效率高，常用于较大面积的粗锉。

(2) 顺向锉法 顺着锉刀轴线方向的锉削，如图 8.18(b)所示，顺向锉法加工余量小，精度高，工件表面平直、光洁，常用于工件的精锉。

(3) 推锉法 垂直于锉刀轴线方向的锉削，如图 8.18(c)所示，常用于较窄表面的精锉以及不能用顺向锉法加工的场所。

(4) 滚锉法 用平锉刀顺着圆弧面向前推进的同时绕圆弧面中心转动，如图 8.18(d)所示。锉刀前推时完成锉削工作；转动时保证锉出圆弧面形状。

锉削时不要用手摸正在加工的工件表面，以免再锉时锉刀打滑。

锉削时根据锉刀的大小采用相应的握法，通常右手握刀柄，大拇指放在上面，四指握住锉刀刀柄，左手根据锉刀的大小适当扶住锉刀的另一端，如图 8.19 所示。

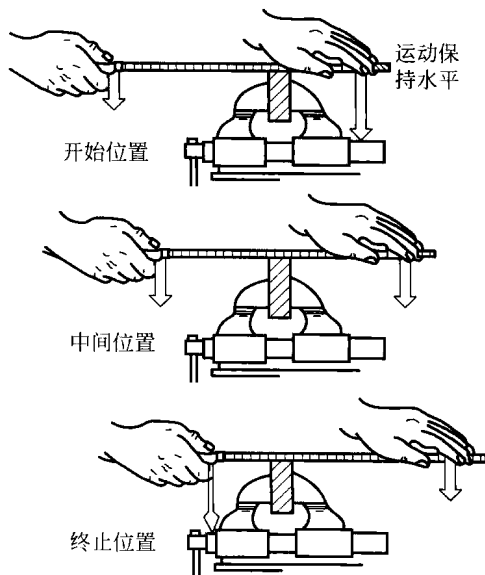


图 8.19 力的变化

(a) 开始位置；(b) 中间位置；(c) 终止位置

8.4.2 锉削质量检查方法

锉削质量检查是根据图纸要求,对零件进行有关检查,常用方法如图 8.20 所示。

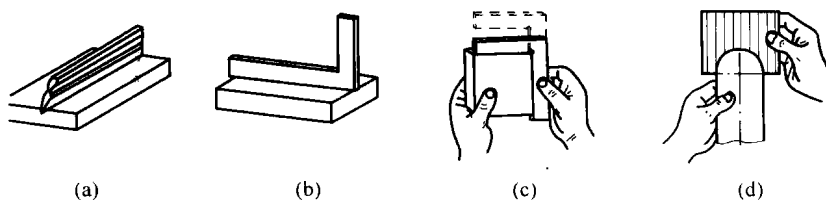


图 8.20 常用的检验方法

检查工具: 游标卡尺、高度尺、直角尺、刀口尺、样板和表面粗糙度样块等量具。

检查项目: 尺寸、直线度、垂直度、平面度、形状、表面粗糙度。

检查外六角形体所采用的样板检查,如图 8.21 所示。

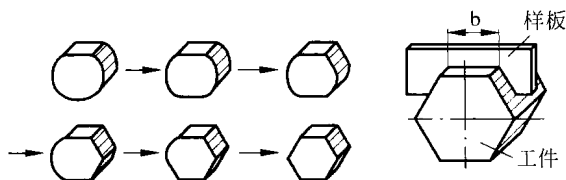


图 8.21 六角形体的样板测量

8.5 钻孔、扩孔和铰孔

孔加工的方法很多,钳工通常是在零件实体上进行孔加工,所使用的设备是钻床。

8.5.1 钻孔

在钻床上用钻头进行孔加工的方法称为钻孔。钻孔时工件用压板或平口钳固定,钻头作旋转运动和轴向移动。钻孔一般用于粗加工,其尺寸公差等级为 IT12~IT11,表面粗糙度 Ra 值为 $12.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 。

1. 麻花钻

钻孔常用的钻头为麻花钻头(见图 8.22),简称麻花钻或钻头。麻花钻由工作部分、颈部和柄部组成。柄部是钻头的夹持部分,有直柄和锥柄两种类型。直柄传递扭矩小,一般用于直径小于 13 mm 的钻头;锥柄传递扭矩较大,用于大于 13 mm 的钻头。颈部是钻头的工作部分和柄部连接部分;工作部分包括导向和切削部分。导向部分有两条对称的螺旋槽,起排屑和输送切削液的作用。麻花钻的前端为切削部分,有两个对称的主切削刃,两刃之间的

夹角通常为 $2\alpha=116^{\circ}\sim 118^{\circ}$, 称为锋角。钻头顶端有横刃, 即两主后刀面的交线, 它使切削轴向力和扭矩增大, 通常采用修磨横刃的办法缩短横刃, 来减小切削轴向力和扭矩。

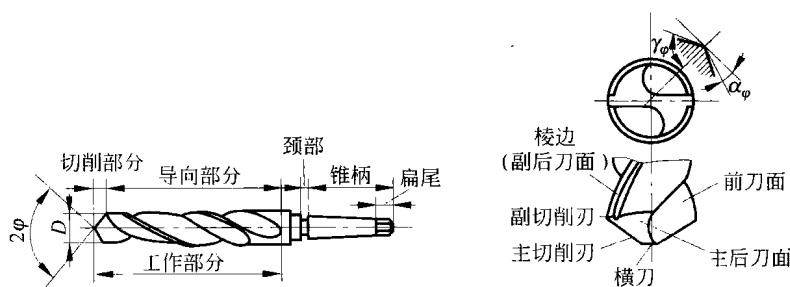


图 8.22 麻花钻

2. 钻头的安装

直柄钻头一般用钻夹头直接安装(见图 8.23(a)), 钻头安装深度以夹住钻头为宜。钻头的直柄装夹在钻夹头的三个自动定心的夹爪中。钻夹头锥柄装入钻床主轴锥孔中。

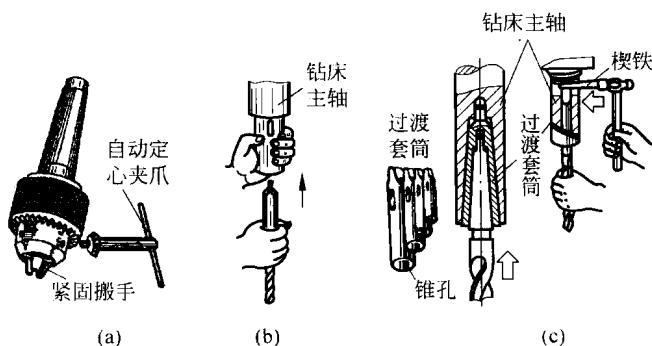


图 8.23 常用的刀具安装方法

(a) 钻夹头安装; (b) 直接安装; (c) 用过渡套安装与拆卸

使用锥柄钻头则根据钻柄的莫氏型号来安装, 若刀柄锥度与钻床主轴锥孔锥度相同可直接安装(见图 8.23(b)); 若两者锥度不同必须使用过渡套安装, 如图 8.23(c)所示。套筒上端接近扁尾处的长方形横孔, 是卸钻头时打入楔铁之用。采用锥面安装其配合牢靠, 同轴度高。刀具锥柄末端的扁尾用以增加传递的力量, 避免刀柄打滑, 便于卸下钻头。

3. 工件的安装

为保证工件的加工质量和操作安全, 钻削时工件必须牢固地安装在夹具或工作台上, 小型工件通常用虎钳或平口钳装夹, 如图 8.24(a)所示。较大的工件用压板螺栓直接安装在工作台上, 如图 8.24(b)所示。在圆柱形工件上钻孔可放在 V 形铁上进行, 如图 8.24(c)所示。

4. 钻孔方法

钻孔前应划中心线、划圆线, 在孔中心处打样冲眼, 然后钻孔。钻深孔时, 为防止切屑堵塞, 要经常退出钻头以排屑, 否则钻头容易折断; 同时要加切削液进行冷却, 降低切削温度,

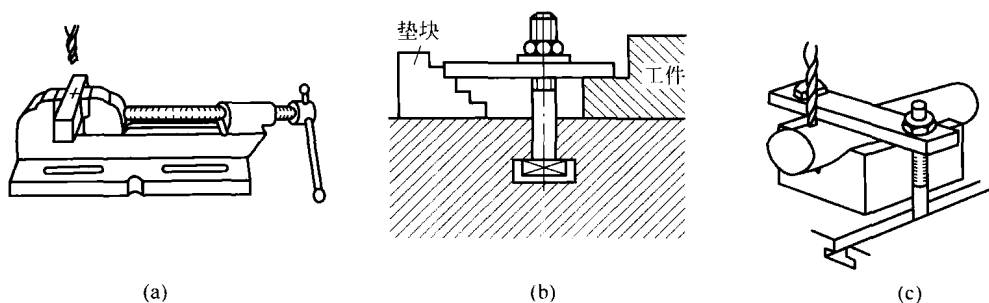


图 8.24 常用的工件安装

(a) 用平口钳安装; (b) 用压板螺栓安装; (c) 用 V 形铁安装

提高钻头的耐用度。直径大的孔,轴向力也大,可先钻出一个直径较小(为加工孔径的 0.5 倍左右)的孔,然后再扩孔。

8.5.2 扩孔

用扩孔钻对工件已有的孔进行扩大加工,称为扩孔。扩孔钻如图 8.25 所示,扩孔常作为孔的半精加工,也用作铰孔前的预加工。扩孔切削运动与钻孔相同,它在一定程度上校正原孔轴线的偏差,并使其获得较正确的几何形状与较低的表面粗糙度。尺寸公差等级 IT10~IT9,表面粗糙度 Ra 值为 $3.2 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。扩孔钻的形状与麻花钻相似,所不同的是扩孔钻有 3~4 个刀齿、没有横刃、螺旋槽较浅、钻心较粗、刚性好、扩孔时自身导向性比麻花钻好,多用于加工余量较小时($0.5 \sim 4 \text{ mm}$)。当余量较大时,分几次扩孔或镗孔。扩孔的方法和钻孔的方法相同。

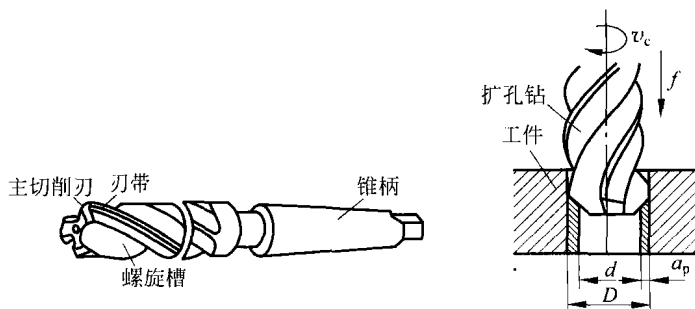


图 8.25 扩孔钻

8.5.3 铰孔

用铰刀对工件上钻出的孔或扩出的孔进行切削加工,称为铰孔。铰孔属于精加工,分为粗铰和精铰。铰孔的尺寸公差等级为 IT8~IT6,表面粗糙度 Ra 值为 $0.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。铰刀的形状如图 8.26 所示,铰刀分机铰刀和手铰刀。机铰刀多为锥柄,装在钻床或车床上进行铰孔,铰孔时选择较低的切削速度,并选用合适的切削液,以降低加工孔的表面粗糙度

Ra 值。手铰刀切削部分较长,导向作用好,易于铰削时的导向和切入。

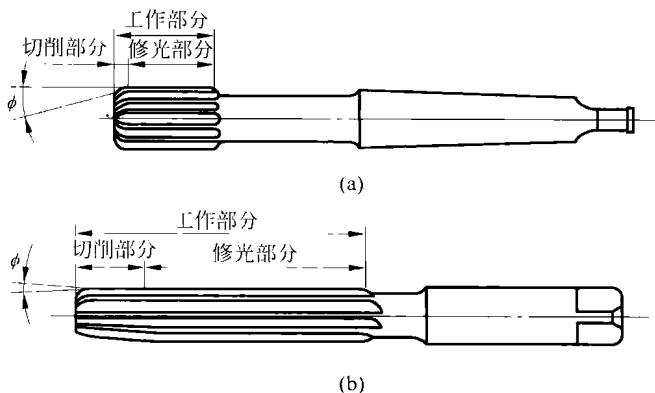


图 8.26 铰刀

(a) 机铰刀; (b) 手铰刀

铰孔注意事项如下。

(1) 铰杠只能顺时针方向带动铰刀转动,不能倒转,否则切屑镶嵌在铰刀后刀面和孔壁之间,会划伤孔壁或使刀刃崩刃。

(2) 手工铰孔过程中,两手用力一致,发现铰杠转不动或感到很紧时,不能强行转动和倒转,应慢慢地顺转,同时向上提出铰刀,检查铰刀是否被切屑卡住或碰到硬质点,在排除切屑后再进行加工,铰完后仍需顺时针旋转退出铰刀。

(3) 机铰时,要在铰刀退出孔后再停车,否则孔壁有刀痕迹。机铰通孔时,铰刀的修光部分不能全部露出孔外,否则铰刀退出时会将孔口划伤。

(4) 铰孔时,应选用合适的切削液。铰铸铁件时用煤油,铰钢件时加乳化液。

8.6 螺纹加工

螺纹的加工方法很多,钳工加工螺纹是指攻螺纹和套螺纹,可由人工或机械利用刀具完成内外螺纹的加工。

8.6.1 攻螺纹

攻螺纹即用丝锥加工内螺纹的方法,又叫攻丝。

1. 攻螺纹所用的工具

(1) 丝锥 加工内螺纹的刀具。丝锥由高速钢或碳素工具钢制成,由工作部分和尾柄两部分组成。工作部分是一段开槽的外螺纹,由切削部分和校准部分组成,有 3~4 条窄槽,用以形成切削刃和排屑。切削部分呈圆锥状,担任起主要切削工作,其牙型不完整,以便每个牙槽都能分层切削,同时使丝锥容易正确切入。校准部分具有完整的齿形,起校准和修光

作用(见图 8.27(a))。每种尺寸的丝锥一般由两支组成一套,分别称为头锥和二锥,两支丝锥的外径、中径和内径均相等,只是切削部分的长度和锥度不同,头锥的切削部分长,锥角小;二锥的切削部分较短,锥角较大(见图 8.27(b))。螺距大于 2.5 mm 的丝锥一般三支为一组。

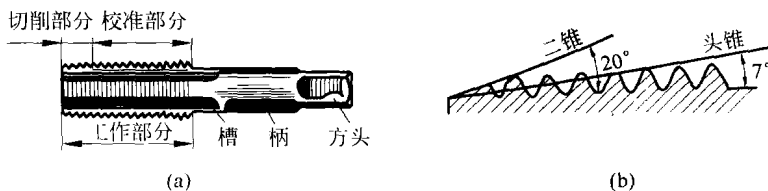


图 8.27 丝锥

(a) 丝锥的组成; (b) 头锥和二锥

(2) 铰杠 用来夹持并转动丝锥的手用工具,常用的是可调式铰杠(见图 8.28)。丝锥头部插入方孔,转动手柄可调节方孔大小,以便夹持不同规格的丝锥。

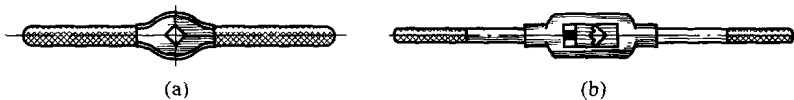


图 8.28 铰杠

(a) 固定式; (b) 调节式

2. 攻螺纹方法

(1) 攻螺纹前先确定螺纹底孔直径,底孔直径可查手册得到,也可用经验公式计算。

对于脆性材料(铸铁、青铜、铸铝等),钻孔直径为

$$d_o = D - 1.1P$$

对于韧性材料(钢材、紫铜等),钻孔直径为

$$d_o = D - P$$

式中, D 为螺纹大径; P 为螺距。

$$\text{钻孔深度} = \text{要求的螺纹长度} + 0.7D$$

按经验公式计算出的钻头直径,应圆整成标准钻头直径。

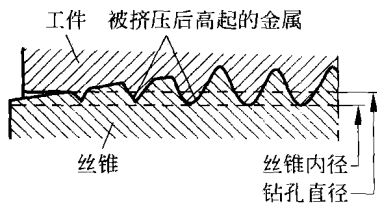


图 8.29 攻螺纹时的金属挤压

由图 8.29 可知,攻螺纹过程中丝锥除了切削金属外,其挤压作用会使金属凸起并挤向牙尖,使螺纹内径变小,无法与相同尺寸外螺纹顺利旋合。此外,嵌在螺纹牙顶与丝锥牙底之间的凸起金属会将丝锥卡住,甚至折断。但底孔尺寸过大则会降低螺纹牙的高度和强度。

(2) 使用头锥攻螺纹时开始必须将丝锥垂直放入孔内,然后用铰杠轻压旋入(见图 8.30)。当丝锥的切削部分已经切入工件时,即可用手平稳的转动铰杠,不再加压力。使用二锥螺纹时,先把丝锥放入孔内,旋入几圈后,再用铰杠转动,此时不需加力。

(3) 攻螺纹和套螺纹时,刀具每转一圈应反转 $1/4$ 圈,以使切屑断落(见图 8.31,第 2 圈要反转 $1/4$ 圈)。

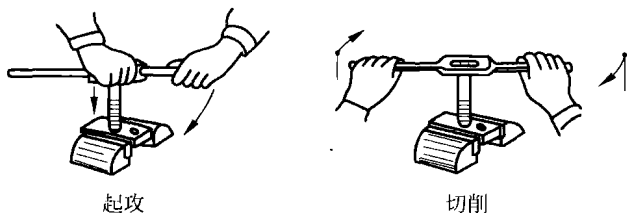


图 8.30 攻螺纹(加工内螺纹)

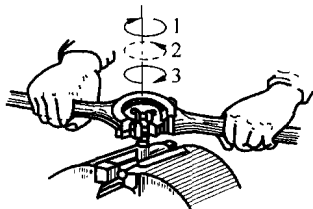


图 8.31 套螺纹(加工外螺纹)

(4) 加工铸铁件时加煤油润滑,加工钢件时加机油润滑,均能使螺纹牙面光洁,并能延长丝锥使用寿命。

3. 断丝锥的处理方法

当底孔尺寸过小、切削用量选择不当或用力过大时,丝锥往往会折断在孔中,此时应先将内孔清理干净,用图 8.32 中所示方法取出折断的丝锥。

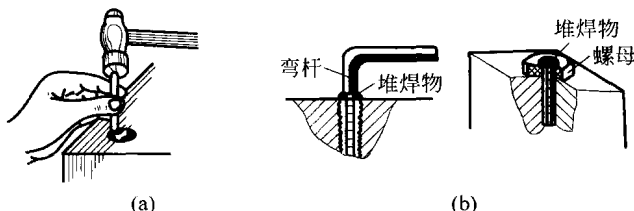


图 8.32 断丝锥的处理方法

(a) 敲击法; (b) 焊接法

8.6.2 套螺纹

套螺纹又叫套扣,是用板牙加工外螺纹的方法。

1. 套螺纹工具

(1) 板牙 加工外螺纹的刀具,由高速钢或碳素工具钢制成,外形像一个圆螺母(见图 8.33),端面钻有 3~4 个排屑孔,并形成切削刃。板牙两端有切削锥,是板牙的切削部分,一般锥角为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。中间部分的螺纹是板牙的校准部分,起校准牙型和导向作用。板牙的外圈有一条深槽和板牙架螺钉对应。板牙齿需淬火后低温回火。

(2) 板牙架 用来夹持板牙传递扭矩的工具(见图 8.34)。

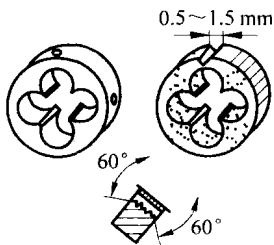


图 8.33 板牙

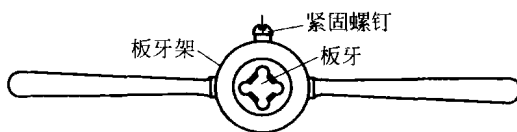


图 8.34 板牙架

2. 套扣方法

(1) 尺寸确定 套扣前应确定并检查圆杆直径,如果圆杆直径大,板牙难以切入,如果圆杆直径小,则套出的螺纹牙型不完整,圆杆直径 d 的大小可查手册,也可按以下经验公式计算:

$$d = D - 0.13P$$

式中, d 为圆杆直径; D 为螺纹公称直径; P 为螺距。

(2) 操作要领 由人工完成攻螺纹、套螺纹加工时,其操作步骤、所用辅具、切削液的选用等与手工铰孔基本相同。

批量生产或大直径的螺纹可在机械设备上完成,如在车床上、铰丝机上完成。

8.7 装配与拆卸

8.7.1 装配概述

机械产品一般是由许多零件和部件组成的。根据规定的技术要求,将若干个零件接合成部件或将若干个零件和部件接合成产品的过程,称为装配。前者称为部件装配,后者称为总装配。

机器结构越复杂,精度要求越高,则装配工艺过程也就越复杂,工作量也越大。装配过程是机械制造生产中的一个重要环节,根据零件精度和产品精度来确定装配技术和装配方法,提高装配质量和装配生产效率是装配工艺所要解决的问题。

8.7.2 装配过程及装配工作

机械装配是产品制造的最后阶段,在装配过程中不是将合格零件简单地连接起来,而是要通过一系列工艺措施,才能最终达到产品质量的要求。常见的装配工作有以下几项。

1. 装配前准备

(1) 研究和熟悉产品装配图,了解产品的结构和零件的作用、技术要求及相互连接的关系。

(2) 确定装配的方案、方法、程序和所需的工具。

2. 清洗零件,去毛刺

机器装配过程中,零、部件的清洗对保证产品的装配质量和延长产品的使用寿命均有重要的意义。清洗的方法有擦洗、浸洗、喷洗和超声波清洗等。常用的清洗液有煤油、汽油、碱液及多种化学清洗液等。

3. 连接

在装配过程中有大量的连接工作,连接的方式一般有两种:可拆卸连接和不可拆卸

连接。

可拆卸连接的特点是拆卸时不损坏任何零件,且拆卸后还能重新装在一起。常见的可拆卸连接有螺纹连接(见图 8.35(a)),键连接(见图 8.35(b))和销连接(见图 8.35(c))等。

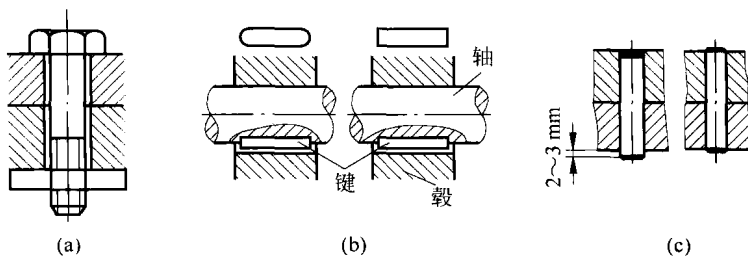


图 8.35 可拆卸连接

(a) 螺纹连接; (b) 键连接; (c) 销连接

不可拆卸连接的特点是被连接的零件在使用过程中不拆卸,如拆卸会损坏某些零件。常见的不可拆卸连接有铆接和过盈连接等。

4. 装配、校正、调整与配件

装配按组件装配→部件装配→总装配的次序进行,并经调整、试验、检验、喷漆、装箱等步骤。

在装配过程中,可根据产品结构的特点和批量大小的不同,采用不同的装配组织形式。

(1) 固定式装配 将产品或部件的全部装配工作安排在一固定的工作地上进行装配,装配过程中产品位置不变,装配所需要的部件都汇集在工作地附近。在单件和中、小批量生产中,对那些因重量和尺寸较大,装配时不便移动的重型机械或机体刚性较差,装配时移动会影响装配精度的产品,均宜采用固定式装配的组织形式。

(2) 移动式装配 将产品或部件置于装配线上,通过连续或间歇的移动以完成全部装配工作。采用移动式装配时,装配过程分得较细,每个工作地重复完成固定的工序,广泛采用专用的设备和工具,生产率很高,多用于大批量生产。

在产品的装配过程中,特别是在单件小批量生产的条件下,为了保证部装和总装的精度,常需要进行一些校正、调整和配作工作。

校正是指产品中相关零部件相互位置的找正、找平及相应的调整工作;调整是指相关零部件相互位置的具体调节工作;配作是指配钻、配铰、配刮及配磨等。

5. 试验、验收

试验前应检查各部件连接的可靠性和运动的灵活性,检查各种变速和变向机构的操纵是否灵活,手柄的位置是否正确。试车时从低速到高速逐步进行,并根据试车情况进行必要的调整,使其达到正确运转的要求。

机械产品装配完后,应根据有关技术标准和规定,对产品进行较全面的检验和试验工作,合格后才允许出厂。以金属切削机床为例,验收试验工作通常包括:机床几何精度的检验、空运转试验、负荷试验和工作精度试验等。

8.7.3 装配实例

图 8.36 所示为减速箱组件的装配。装配顺序如下：

- (1) 装配键,将键装入轴的键槽内;
- (2) 压装齿轮,齿轮装入轴时,同时使轴上的键与齿轮键槽对中;
- (3) 轴右端装入垫套,压装右轴承;
- (4) 压装左轴承;
- (5) 毡圈放进透盖槽中,将透盖装在轴上。

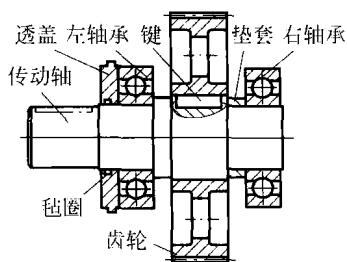


图 8.36 减速箱组件的装配

8.7.4 常用轴承的装配方法

(1) 冷压法 滚动轴承的配合一般为过盈小间隙配合,通常用压力机或手锤装配。为了使轴承圈受力均匀,需采用垫套加压。轴承压到轴颈上时,应通过套筒施力于内圈端面(见图 8.37(a));轴承压到箱体孔中时,应施力于外圈端面(见图 8.37(b));当轴承同时压到轴颈上和机体中时,则内外圈端面应同时加力(见图 8.37(c))。

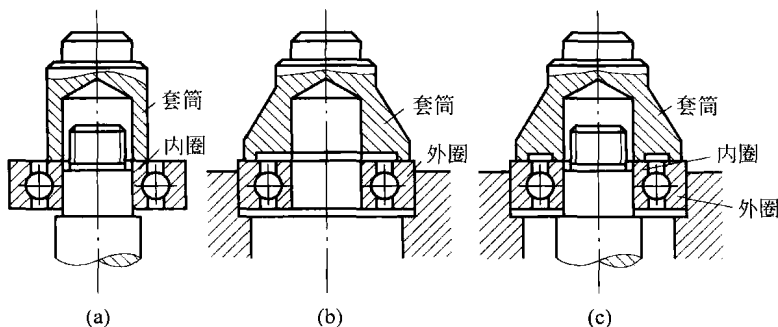


图 8.37 压配轴承的套筒衬垫

(a) 内圈-轴颈的装配; (b) 外圈-轴承孔的装配; (c) 内外圈同时压入轴颈与轴承孔

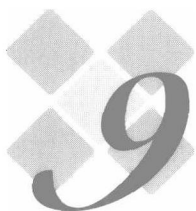
(2) 热压法 当轴承与轴颈较大,过盈也很大时,可采用热压法,将轴承加热到 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 使其内孔尺寸膨胀,然后趁热迅速压入轴颈中。

8.7.5 机器的拆卸

与装配过程一样,拆卸机器前,应先读图,了解其结构,再确定拆卸方法与步骤。拆卸工作过程应按装配相反的顺序进行。从装配图上了解装配顺序后,应按先拆后装、后拆先装的顺序拆卸零、部件。

复习思考题

1. 零件加工前为何要划线？划线的作用是什么？什么叫划线基准？如何选择划线基准？
2. 何为平面划线、立体划线？举例说明。
3. 方箱和千斤顶的用途有什么不同？
4. 用 V 形铁支撑圆柱形工件有何优点？
5. 选择锯条的依据是什么？
6. 锯条折断和崩齿的主要原因是什么？
7. 锉削有哪些方法？锉刀如何选择？
8. 钻、扩、铰有什么区别？
9. 麻花钻和扩孔钻在结构上有何不同？
10. 刮削有什么特点和用途？
11. 什么是装配？装配过程有哪几步？
12. 交叉锉、顺锉和推锉法各适宜什么场合？
13. 攻螺纹时如何确定钻孔直径？
14. 如何正确使用丝锥和板牙？
15. 如何安装和拆卸钻头？



铣削、刨削、磨削和精密加工

9.1 铣削加工

9.1.1 铣削运动及铣削要素

1. 铣削加工

在铣床上用铣刀对工件进行切削加工叫铣削。铣削是铣刀作旋转运动,工件作进给运动,如图 9.1 所示。铣削主要是加工平面、台阶、沟槽、成形表面、齿轮及切断等。铣削速度较高,因此,除了加工狭长平面外,铣削比刨削生产率高。铣削应用范围较广,在成批大量生产中,一般都采用铣削。

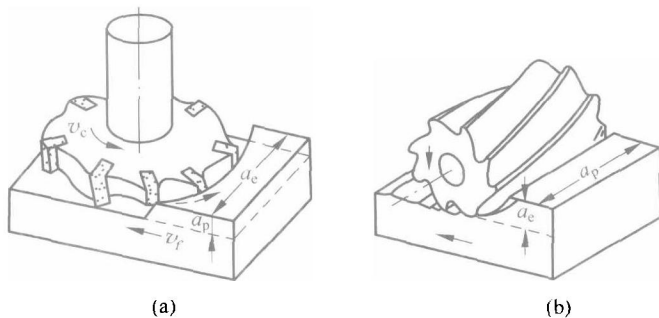


图 9.1 铣削

铣削的加工精度一般可达 IT 9~IT 8 级,表面粗糙度可达 $Ra1.6\sim6.3\mu\text{m}$ 。

2. 铣削用量

铣削用量包括铣削速度、进给量、铣削深度和铣削宽度四个要素。

1) 铣削速度 v_c

铣削速度为铣刀切削处最大直径点的线速度

$$v_c = \pi dn / 1000$$

式中, v_c 为铣削速度, m/min ; d 为铣刀直径, mm ; n 为铣刀每分钟转速, r/min 。

2) 进给量

铣削进给量有三种表示方法。

(1) 进给速度 v_f (mm/min) 指工件对铣刀的每分钟进给量, 即每分钟工件沿进给方向移动的距离。

(2) 每转进给量 f (mm/r) 指铣刀每转一圈工件对铣刀的进给量, 即铣刀每转一圈工件沿进给方向移动的距离。

(3) 每齿进给量 a_f (mm/每齿) 指铣刀每转过一个刀齿时工件对铣刀的进给量, 即铣刀每转过一个刀齿, 工件沿进给方向移动的距离。

它们三者之间的关系式为

$$v_f = f \cdot n = a_f \cdot z \cdot n$$

式中, n 为铣刀每分钟转数, r/min; z 为铣刀齿数。

3) 铣削深度 a_p

铣削深度 a_p 为沿铣刀轴线方向上测量的切削层尺寸, 参见图 9.1。切削层是指工件上正被刀刃切削的那层金属。

4) 铣削宽度 a_e

铣削宽度 a_e 为垂直铣刀轴线方向上测量的切削层尺寸, 参见图 9.1。

9.1.2 铣床及其附件

1. 铣床

铣床分为卧式铣床、立式铣床、龙门铣床、数控铣床和工具铣床等类型。生产中常用卧式万能铣床(见图 9.2)和立式铣床(见图 9.3)。

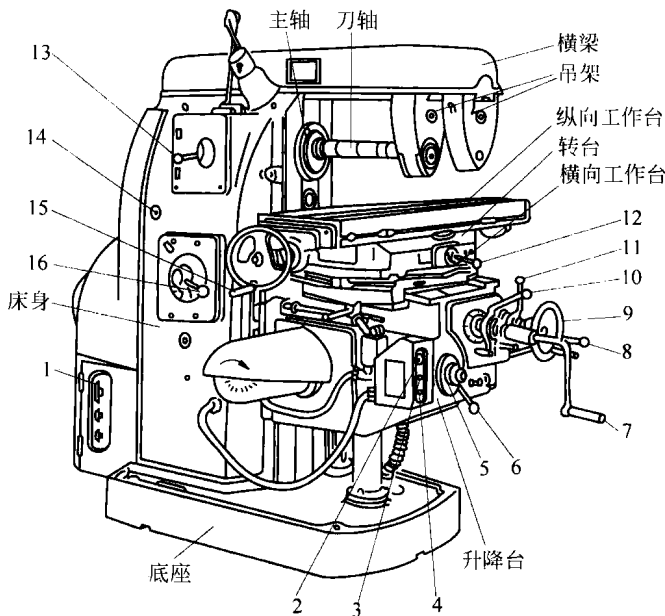


图 9.2 卧式万能铣床

- 1—总开关; 2—主轴电机启动按钮; 3—进给电机启动按钮; 4—机床总停按钮; 5—进给高、低速调整盘;
6—进给数码转盘手柄; 7—升降手动手柄; 8—纵向、横向、垂向快动手柄; 9—横向手动手轮;
10—升降自动手柄; 11—横向自动手柄; 12—纵向自动手柄; 13—主轴高、低速手柄;
14—主轴点动按钮; 15—纵向手动手轮; 16—主轴变速手柄

两者在结构上的最大区别是卧式铣床的主轴与工作台台面相互平行,而立式铣床的主轴与工作台台面相互垂直。

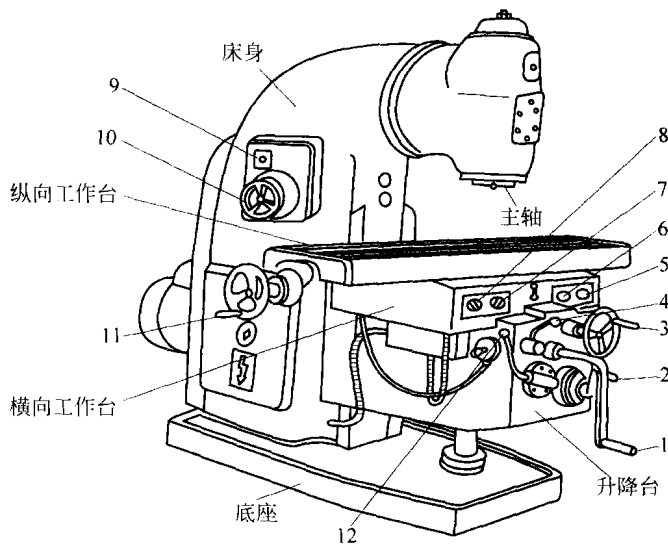


图 9.3 立式铣床

- 1—升降手动手柄；2—进给量调整手柄；3—横向手动手轮；4—纵、横、垂向自动进给选择手柄；
5—机床启动按钮；6—机床总停按钮；7—自动进给换向旋钮；8—切削液泵开关旋钮；
9—主轴点动按钮；10—主轴变速手轮；11—纵向手动手轮；12—快动手柄

万能卧式铣床主轴由电动机经装置在床身内的变速箱传动而获得旋转运动。铣刀紧固在刀杆上,刀杆的一端夹紧在主轴的锥孔内,另一端支撑于横梁上的吊架内。吊架可沿横梁导轨移动。横梁亦可沿床身顶部的导轨移动调整其伸出长度,以适应不同长度的刀杆。工件安在工作台上,工作台可在转台的导轨上作纵向进给运动。转台与横向溜板连接。松开连接螺钉,转台连同工作台一起在横向溜板上作 $\pm 45^\circ$ 以内的转动,以使工作台作斜向进给运动。横向溜板在升降台的导轨上作横向进给运动。升降台连同其上的横向溜板、转台及工作台沿床身的导轨作上下移动。

立式铣床的立铣头可以在垂直面内偏转一定的角度使主轴对工作台倾斜成一定的角度,以用来加工斜面等。工作台结构和卧式铣床的相同。

2. 铣床附件及工件安装

使用铣床附件能有效地扩大工件的安装范围,进行特殊表面的加工,常用的附件有以下几种。

1) 回转工作台

回转工作台又称为转盘、平分盘或圆形工作台,其内部有一套蜗轮蜗杆传动机构,使转台转动;转台周围有刻度,可以用来观察和确定转台位置;转台中央有一孔,利用它可以方便地确定工件的回转中心。较大工件的分度工作和非整圆弧面的加工,通常在回转工作台上进行。转动回转工作台使工件作圆周进给运动,从而实现内、外圆弧表面的加工,如图 9.4 所示。

2) 万能立铣头

在卧式铣床床身垂直导轨上安装万能立铣头,可扩大卧式铣床的加工范围。铣刀安装

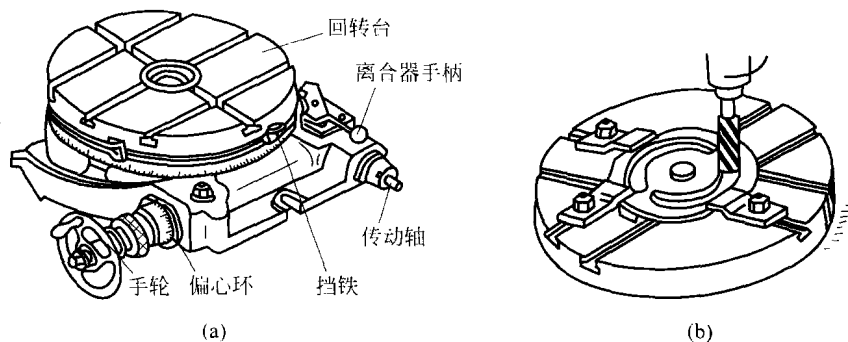


图 9.4 回转工作台及其工作举例

(a) 回转工作台；(b) 利用回转工作台铣圆弧槽

在立铣头的主轴上，铣削时铣刀可随壳体转动任意角度，从而完成空间不同方位的各种铣削工作，如图 9.5 所示。

3) 分度头

分度头是铣床的重要附件，主要功能是：

- (1) 使工件绕自身的轴线实现分度，完成铣削多边形、齿轮、花键等的分度工作；
- (2) 工作台在带动工件作直线运动的同时，分度头带动工件作旋转运动，以完成螺旋面加工，如图 9.6 所示；

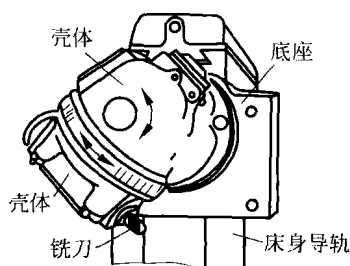


图 9.5 万能立铣头

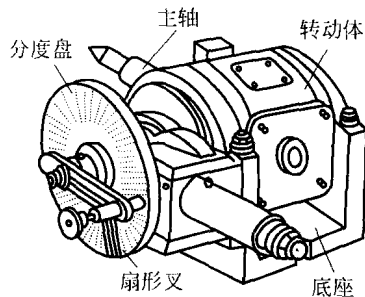


图 9.6 万能分度头

- (3) 可把工件轴线装置成水平、垂直或倾斜位置进行铣削。

铣削平面工件的安装方法与刨削相同。铣削轴类件时，常用的几种安装方法如图 9.7 所示。

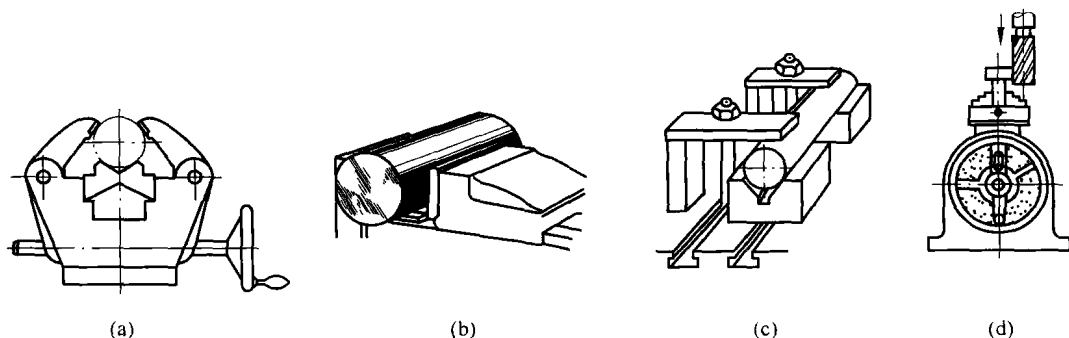


图 9.7 轴类工件的常用安装方法

(a) 用虎钳安装；(b) 用平口钳安装；(c) 用 V 形块安装；(d) 用分度头尾架安装

9.1.3 铣削加工方法

实际生产中,铣床的加工范围很广,仅次于车床。铣削时,工件可用压板螺钉直接装夹在工作台上,也可通过平口钳、分度头和 V 形铁间接地装夹在工作台上。在成批大量生产中,广泛地采用各种专用夹具。

1. 铣平面

平面铣削时,按加工所处位置分为水平面、垂直面和斜面铣削。可以用圆柱铣刀在卧式铣床上铣平面或铣侧面;也可用端铣刀在立式铣床上铣平面。铣平面分周铣、端铣以及周铣与端铣两者兼用三种方法。

在卧式铣床上用圆柱铣刀的圆周刀齿铣削平面的方法称为周铣,如图 9.8 所示。周铣法又分为顺铣和逆铣,如图 9.9 所示。在切削部位刀齿的旋转方向和工件的进给方向相同时,为顺铣;相反时,为逆铣。

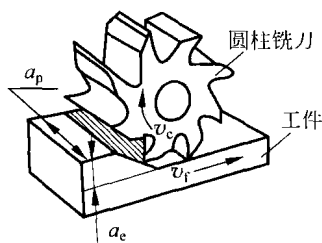


图 9.8 周铣法铣平面

用端铣刀的端面切削平面的方法称为端铣,如图 9.10 所示。由水平面和垂直面组成的台阶面,常用周铣和端铣并用的方法(见图 9.11)完成铣削。此时,圆周上的刀齿和端部刀齿同时参加切削。

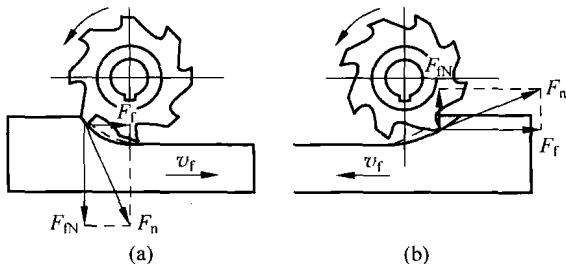


图 9.9 顺铣和逆铣

(a) 顺铣; (b) 逆铣

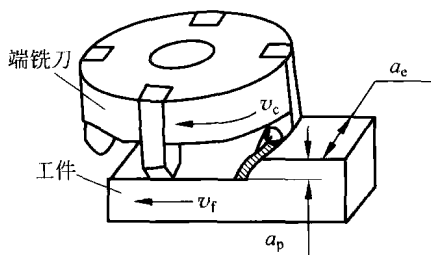


图 9.10 端铣法铣平面

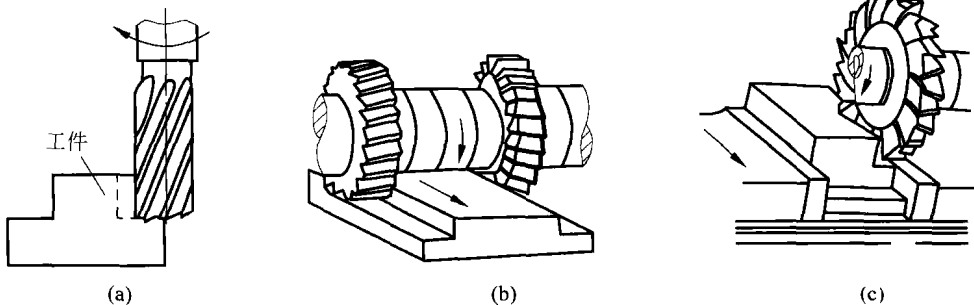


图 9.11 周铣和端铣共用的平面铣削

(a) 用立铣刀铣外台阶面; (b) 用组合铣刀铣台阶面; (c) 用三面刃铣刀铣台阶面

2. 铣斜面

(1) 根据划线安装工件铣斜面 划出斜面加工线的工件,装夹时按划线找正,平口钳与进给方向垂直,防止工件受切削力的作用发生松动。该方法用于单件生产。

(2) 用垫铁使工件倾斜 在工件定位的基准面上垫一块与工件角度相同的斜垫铁,使工件倾斜要求角度。该方法用于小批量生产。

(3) 用万能分度头铣斜面 将万能分度头旋转需要的角度,万能分度头装有三爪夹盘,常用于圆柱形工件铣斜面。

(4) 用万向平口钳夹工件铣斜面 用万向平口钳扳转一定角度铣斜面。

(5) 用专用夹具铣斜面 适宜批量加工。

(6) 扳转铣头角度铣斜面 将立式铣床的立铣头或在卧式铣床装上立铣头扳转一定角度,用端铣刀或立铣刀铣斜面。

(7) 用角度铣刀铣斜面 根据零件要求,选用相应的角度铣刀。

3. 铣沟槽

在铣床上可利用不同的铣刀加工沟槽。

(1) 开口键槽一般在卧式铣床上用三面刃盘铣刀铣削(见图 9.12)。

(2) 封闭键槽一般在立式铣床上用键槽铣刀铣削(见图 9.13),其端面有刀刃,可直接向下进行切削,但进给量应很小,可手动进给。

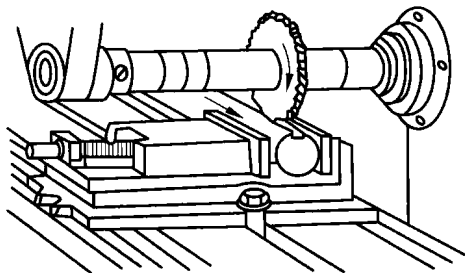


图 9.12 铣开口键槽

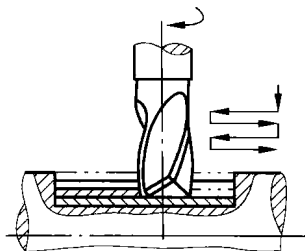


图 9.13 铣封闭键槽

(3) 铣 V 形槽常用双角铣刀在卧式铣床上铣削,铣刀角度应等于工件所要求的角度,如图 9.14 所示。

(4) 铣燕尾槽时,亦先铣出直槽,然后在立铣床上用角度铣刀铣出燕尾槽,如图 9.15 所示。

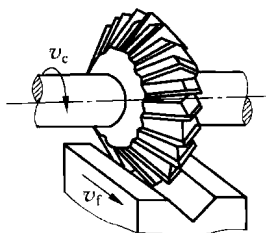


图 9.14 铣 V 形槽

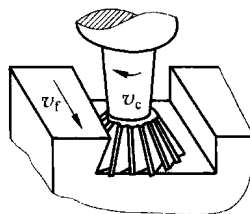


图 9.15 铣燕尾槽

(5) 铣 T 形槽应先用立铣刀或三面刃盘铣刀铣出直槽, 然后在立铣床上铣出 T 形槽, 如图 9.16 所示。

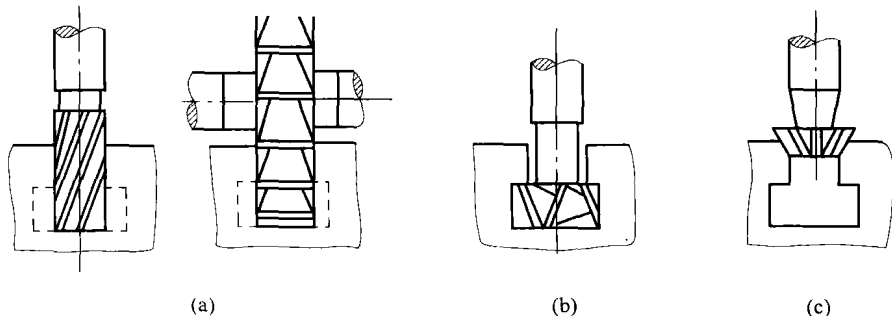


图 9.16 T 形槽铣刀铣 T 形槽的步骤

(a) 铣直角槽; (b) 铣 T 形槽; (c) 倒角

4. 铣成形面

(1) 用成形铣刀铣成形面, 图 9.17 所示为在卧式铣床上用成形铣刀铣成形表面。

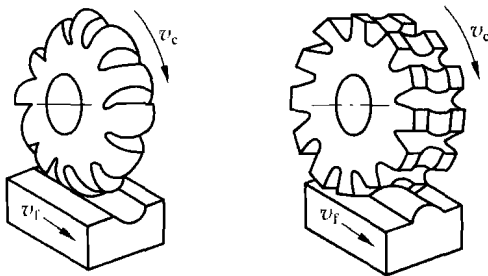


图 9.17 成形刀铣成形面

(2) 用靠模装置铣削成形面, 图 9.18 所示为在立式铣床上用靠模夹具铣成形表面的实例。在大批大量生产成形面零件时常采用靠模方式, 靠模与工件装在转台中的同一心轴上, 可与转台一同旋转, 转台与夹具体一起可在底座上滑动。在重锤的作用下, 靠模与滚子始终接触。铣削时移动工作台使铣刀切入工件, 然后通过手轮转动转台使工件作圆周进给运动, 同时在靠模的作用下作径向进给。因此, 工件对铣刀即按照靠模对滚轮的关系铣出成形表面。

(3) 划线法铣削内外成形面, 如图 9.19 所示, 有回转工作台进给法和成形法。

5. 铣螺旋槽

螺旋形沟槽的零件可在铣床上加工, 如螺旋齿轮、麻花钻头切削部分上的螺旋槽以及螺旋铣刀(见图 9.20)均可在万能铣床上进行, 通常采用分度头配合加工。当工作台带动工件纵向运动一个导程的同时, 分度头带动工件转过一转, 铣刀就在工件上切出一条螺旋槽, 如图 9.21 所示。使用卧式万能铣床铣螺旋槽时, 机床调整原则为: 必须保证盘状铣刀的旋转平面与被加工的螺旋槽旋向吻合。此时, 应将工作台在水平面内旋转一个角度 β (工件的螺旋角)。铣左螺旋槽时, 工作台顺时针方向旋转; 铣右螺旋槽时, 工作台则逆时针方向旋转。使用立铣床时, 工作台不必转动角度。

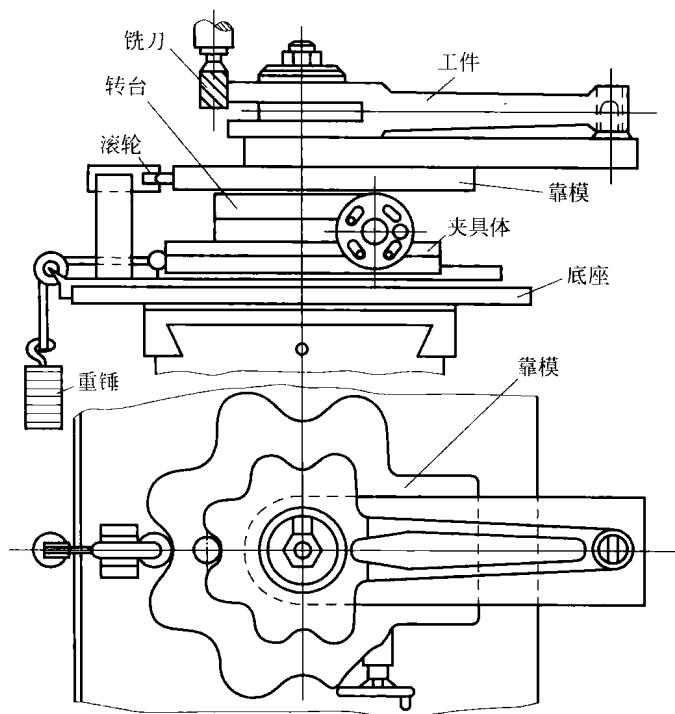


图 9.18 靠模法铣成形面

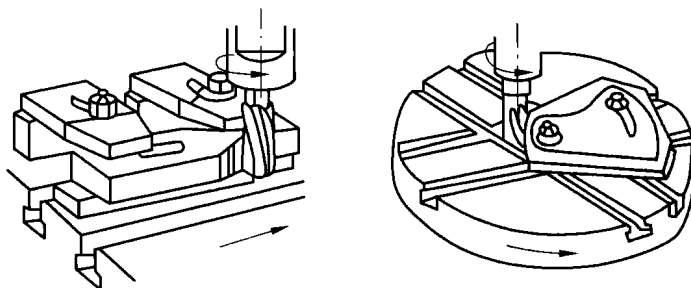
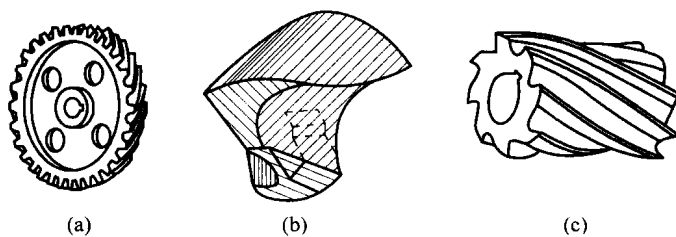


图 9.19 划线法铣成形面



(a)

(b)

(c)

图 9.20 带螺旋槽的零件和刀具

(a) 螺旋齿轮; (b) 麻花钻; (c) 螺旋铣刀

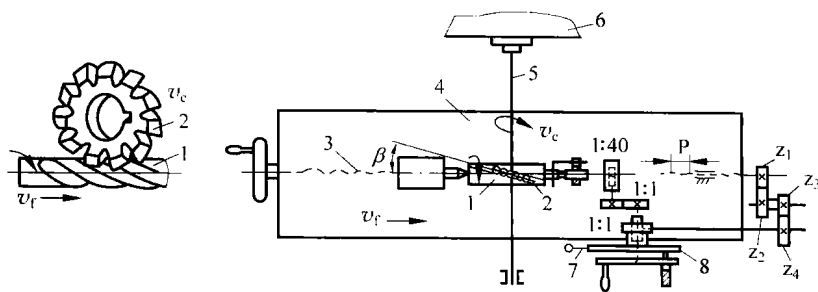


图 9.21 卧式铣床上铣螺旋槽

1 工件；2—铣刀；3 丝杠；4—纵向工作台；5 刀杆；6—床身垂直导轨；7 紧固螺钉；8—分度头

9.2 刨削加工

在刨床上用刨刀加工工件的过程称为刨削。刨削的加工范围主要是加工平面(水平面、垂直面、斜面),槽(V形槽、燕尾槽、T形槽和直槽)及简单的成形面。

刨削加工的主运动是刨刀作直线往复运动,工作作进给运动。刀具切削时为工作行程,刀具返回时不切削则为空行程,空行程占据了工作时间。切削方式是断续切削,产生了很大的冲击力和惯性力,使切削速度降低。同时刨刀多为单刃切削。综述以上刨削特点可得:刨削生产率较低。但在加工狭长表面时刨削却能获得较高的生产率。刨削刀具简单、安装调整方便、加工成本低,故刨削在单件生产、修配工作中精度要求不高的场合应用广泛。刨削加工的尺寸精度一般为 IT9~IT7,表面粗糙度 Ra 值为 $1.6 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。

9.2.1 刨床及刨削工作

刨床主要有牛头刨床、液压刨床、龙门刨床和插床。龙门刨床用于加工较大零件;插床用于加工内表面及键槽等。机床的选用根据零件的尺寸及要求来选择。

1. 牛头刨床

牛头刨床主要用于加工中小型工件平面、斜面等,刨削长度一般不超过 1000 mm,牛头刨床由床身、滑枕、横梁、工作台和刀架等组成,如图 9.22 所示。图 9.23 为牛头刨床的运动情况。

(1) 床身 用于支撑和连接刨床各个部件,上面有水平燕尾导轨供滑枕作往复运动使用,前侧面上的垂直导轨为工作台升降使用。床身内、外部装有传动机构和电机。

(2) 滑枕 装在床身上面的燕尾导轨里,前端装有刀架,由曲柄摆杆机构带动其沿床身上的水平燕尾导轨作直线往复运动。

(3) 横梁 安装在床身前侧面的垂直导轨上,可带动工作台沿着垂直导轨上下运动和左右运动,从而实现对工件的进给和切削深度,形成进给运动。

(4) 工作台 工作台上 T 形槽,用来安装夹具(如平口钳、压板等)和工件。工作台可

随横梁作上下运动,还可沿横梁作横向水平移动。

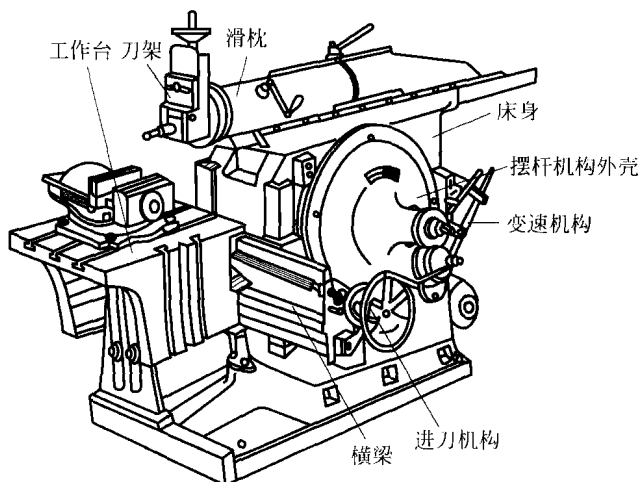


图 9.22 牛头刨床组成

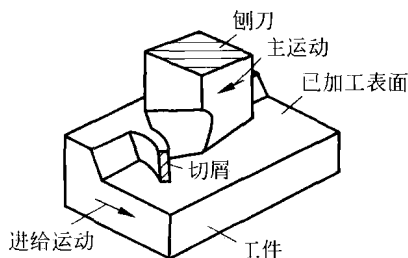


图 9.23 牛头刨床运动分析

(5) 刀架 刀架装在滑枕上,它用来安装刀具,当转动刀架手柄时刨刀可向上或向下移动,用于切削深度的加工。当刀具返程(空行程)时,刀具自动抬起以减少刀具和工件之间的摩擦。

2. 工件安装

刨削时常用的工件安装方法如图 9.24 所示,图(a)适用于小尺寸工件,图(b)适用于较大尺寸工件。

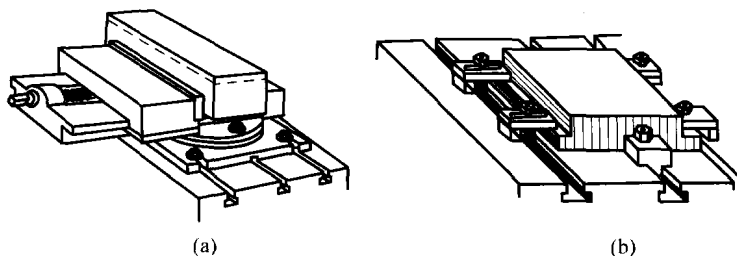


图 9.24 常用的工件安装方法

(a) 用平口钳安装工件；(b) 用螺钉、压板安装工件

3. 典型表面刨削及刀具

1) 刨平面

加工平面时可分为水平面、垂直面和斜面。当调整好一定吃刀深度时,刀具往复运动,工件相对进给,就形成了平面加工。通常加工要分几次完成,当加工表面质量要求较高时,分粗刨和精刨来完成。粗刨用较大的切削深度和较大的进给量,来提高生产效率;精刨切削深度和进给量要小,切削速度可大一些。加工不同的平面,可采用不同形式的刀具,图 9.25、图 9.26 为刨削不同平面时的运动和刀具选用。

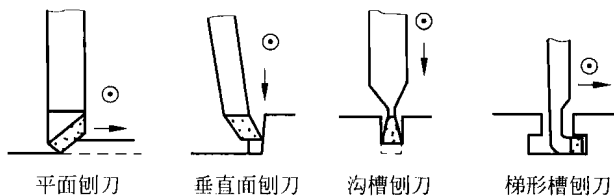


图 9.25 常用的刨刀

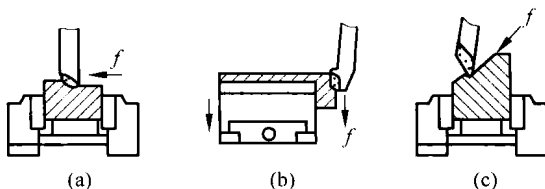


图 9.26 刨削平面的运动及刀具

(a) 刨水平面; (b) 刨垂直面; (c) 刨斜面

2) 刨沟槽

(1) 刨直沟槽可用切断刀垂直进给,并调整刀横向进给,完成直槽的加工,如图 9.27(a)所示。

(2) 刨 V 形槽和刨直沟槽相类似,先刨直槽,然后用左、右偏刀刨两个斜面。

(3) 刨 T 形槽时先用切断刀刨出直槽,然后用左、右弯刀分别刨出两侧凹槽,如图 9.27(b)所示。

(4) 刨燕尾槽和刨 T 形槽相类似,先用切断刀刨出直槽,然后用左、右角度偏刀分别刨出燕尾侧面。

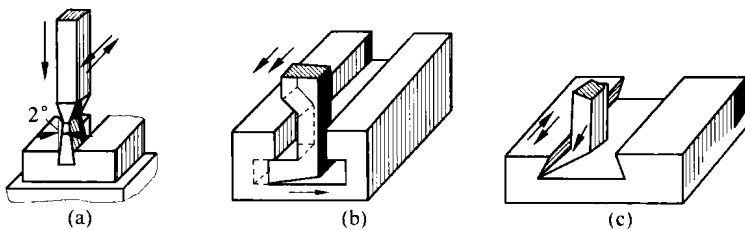


图 9.27 刨平面形沟槽的运动及刀具

(a) 刨直槽; (b) 刨 T 形槽; (c) 刨燕尾槽

3) 刨成形面

成形面指直线形成形面,即母线为直线的成形表面,如图 9.28(a)所示。刨成形面一般根据工件的数量和精度要求来决定加工方法。

(1) 划线法加工 为保证加工形状,加工前在零件表面按零件形状划线,加工时按划线进行加工,如图 9.28(b)所示。划线法加工需用手动进刀,加工质量难以保证。通常用于单件生产、零件形状简单、加工精度要求不高的零件。

(2) 成形法加工 当零件有一定批量时,应采用成形法加工,如图 9.29(a)所示。

(3) 靠模法加工 当大批大量加工时,采用靠模法加工,如图 9.29(b)所示,可获得较高的生产率,并能保证加工质量。刨削大型或重型工件以及同时加工多个中小型工件,应在

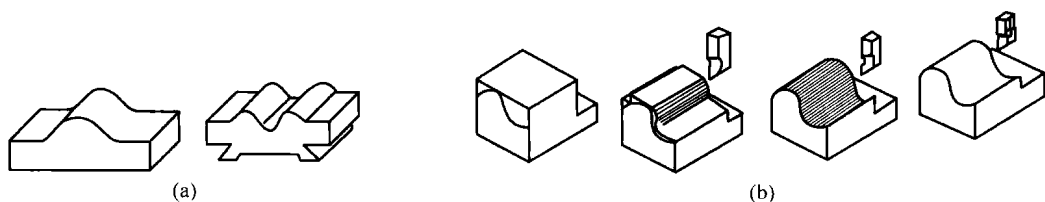


图 9.28 成形面及划线加工

(a) 直线形成形面零件；(b) 划线法加工

龙门刨床上或者数控刨铣床上进行。

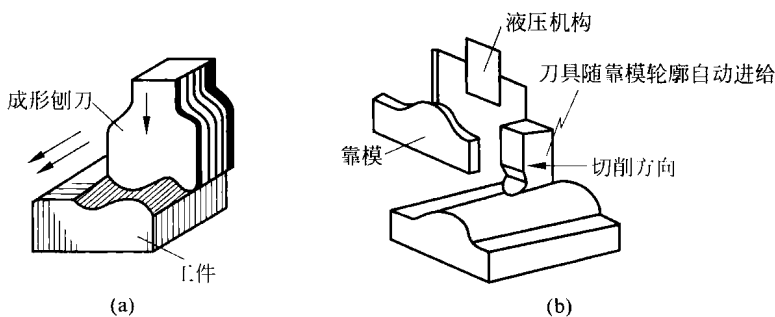


图 9.29 刨成形面

(a) 成形法刨直齿轮；(b) 靠模法加工

9.2.2 插削和拉削

1. 插削加工

用插刀作上下直线往复运动的切削加工称为插削加工。插削在刨床上进行,由于插刀的主运动在垂直方向,故可将插削视为立式刨削加工,如图 9.30 所示。插削主要用于单件、小批量生产,加工各种直线形内成形表面(如孔内键槽、方形孔、多边形孔和花键孔等)以及某些外表面(如外圆弧面、扇形齿轮)。插削内键槽运动如图 9.31 所示。

2. 拉削加工

拉削是在拉床(见图 9.32)上用拉刀加工工件内、外表面的方法。拉削与刨削近似,但与刨削不同。可以把拉刀看成是由多把刨刀由低至高按序排列而成,拉刀相对工件作直线运动(主运动);每个刀齿依次从工件上切下一层很薄的切屑,相当于进给运动,如图 9.33 所示,加工余量是由一组齿高递增的刀齿分层依次切除的。图 9.34 所示为圆孔拉刀。图 9.35 所示为拉削工件截面图。拉床一般采用液压传动,拉削的速度较低,故拉削过程平稳,表面加工质量较好,尺寸精度可达 IT8~IT6,表面粗糙度 Ra 值为 $0.4 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。在一次拉削过程中可以完成粗切、精切、校准和修光工作,故生产率高。因此,一把拉刀只适宜加工一种规格尺寸的表面,且因结构复杂、制造成本高,故拉削只用于大批大量生产中。

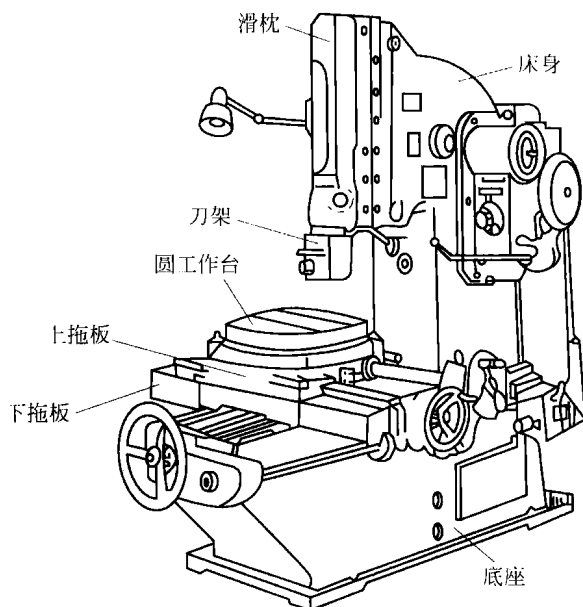


图 9.30 插床外形图

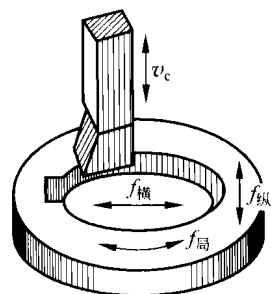


图 9.31 插内键槽运动图

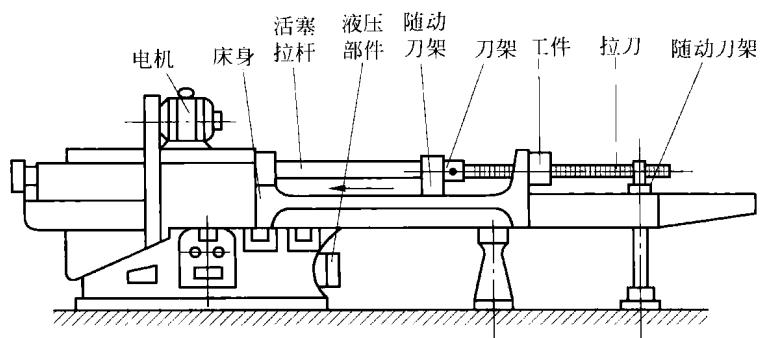


图 9.32 卧式拉床示意图

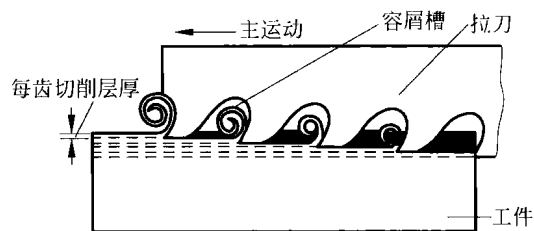


图 9.33 拉削原理

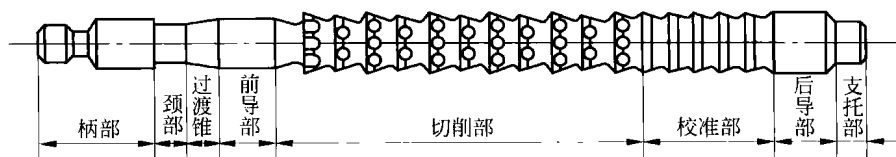


图 9.34 圆孔拉刀

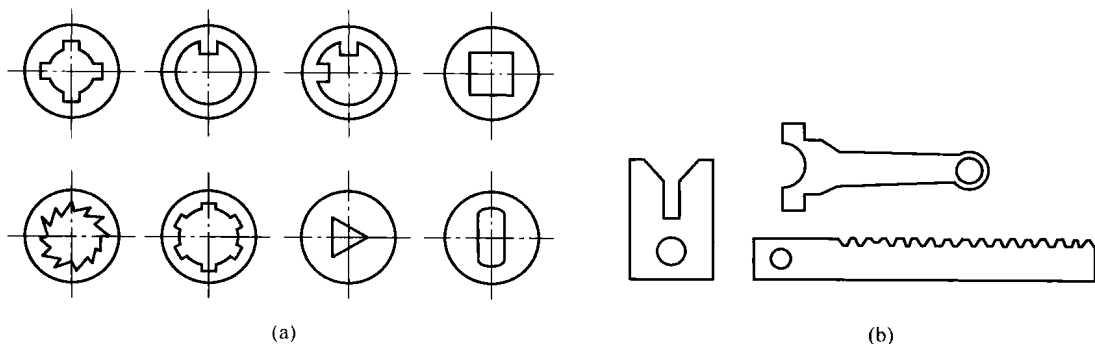


图 9.35 拉削实例
(a) 拉削各种形状的孔；(b) 拉削外形表面

9.3 磨削加工

9.3.1 普通磨削

在磨床上用砂轮对工件进行切削加工称为磨削。磨削是精加工的主要方法之一，具有以下特点。

- (1) 磨削精度高，尺寸公差等级可达 IT6~IT5，表面粗糙度小， Ra 值为 $0.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。
- (2) 磨削在生产中的应用十分广泛。除有色金属外，磨削适用于碳钢、合金钢、淬硬钢、陶瓷、硬质合金等的精加工。磨削可以加工平面、内外圆柱面和圆锥面、齿轮、螺纹、花键以及其他成形面，还用于各种刀具的磨削。
- (3) 磨削温度高，磨削温度可达到 1000°C ，在磨削时应加切削液进行冷却和润滑，防止工件变形和烧伤。
- (4) 有色金属不宜采用磨削。

1. 磨具

磨削时所采用的工具统称为磨具。常用的有固结磨具(如砂轮、油石)以及涂覆磨具(如砂纸、纱布、砂带)两大类。

1) 砂轮

砂轮是由磨粒和结合剂烧结而成的多孔物体，如图 9.36 所示，它的特性对零件的加工精度、表面粗糙度和生产率影响很大。

砂轮的主要特征包括磨料、粒度、结合剂、硬度、组织、形状和尺寸等。

(1) 常用的磨料有：刚玉类(Al_2O_3)，适用于韧性材料(如钢料)及一般刀具的磨削；碳化硅(SiC)类，适用于脆性材料(如铸铁、青铜)及硬质合金刀具的磨削。

(2) 粒度是指磨粒的粗细，用粒度号(即筛网上单位长度内的孔眼数)来表示。粒度号共分 27 个，有 4 $\#$ ，5 $\#$ ，...，240 $\#$ 等。粒度号愈大，磨粒愈细。粗磨或磨软金属时，应选用粒度号较小(即粗磨粒，如 36 $\# \sim 46\#$)的砂轮。精磨则应选用粒度号较大(即细磨粒，如 80 $\# \sim$

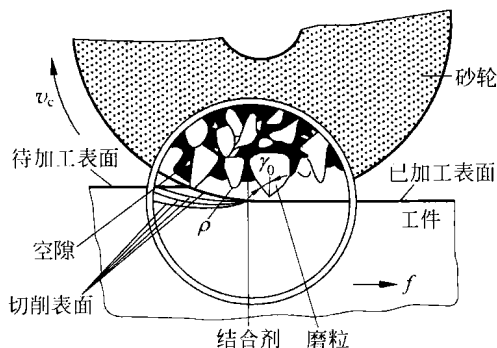


图 9.36 砂轮结构及工作原理

120[#])的砂轮。精密加工和超精密加工时应选用微粉,微粉的粒度号是用该级磨粒的实际最大尺寸(μm)来表示,其粒度号分为 W63, W50, W40, ..., W1.5, W1.0, W0.5 等,共 14 个。

(3) 结合剂的作用是将磨粒黏结成具有一定强度、形状和尺寸的砂轮,其种类有陶瓷、树脂和橡胶等。应用最广的是陶瓷结合剂(V),适用于外圆、内圆、平面及成形磨削等。用于切割的薄片砂轮则采用树脂结合剂(B)和橡胶结合剂(R)。砂轮的强度、硬度、抗冲击性以及耐热性主要取决于结合剂的种类和性能。

(4) 硬度是指砂轮工作表面的磨粒受切削力时脱落的难易程度。不易脱落则硬度高,反之,则硬度低。磨削硬材料时,应选硬度较低的砂轮;磨削软材料时,应选硬度较高的砂轮。

砂轮硬度与磨粒硬度无关,与所用结合剂的黏结强度及烧结工艺有关。硬度分为 D, E, F(超软); G, H, J(软); K, L(中软); M, N(中); P, Q, R(中硬); S, T(硬); Y(超硬)。普通磨削常用硬度等级为 G 级~N 级的砂轮。

(5) 组织是指砂轮中磨粒、结合剂和孔隙三者体积的比例关系。砂轮组织用 0, 1, 2, ..., 14 共 15 个号来表示,号数越小,表示磨粒所占比例越大,砂轮的組織越紧密。普通磨削常用 4 号~7 号组织(即中等组织)的砂轮。

(6) 形状和尺寸,表 9.1 为常用砂轮的形状、代号及用途。生产中应根据所用机床和加工要求来选用。

2) 常用磨具的标记及用途

为方便识别、管理和使用,生产中将磨具的特征代号印在其非工作表面上,常用磨具的标记及用途见表 9.1 和表 9.2。

表 9.1 常用砂轮形状代号及用途(GB 2484—1984)

砂轮名称	代号	简 图	主 要 用 途
平形砂轮	1		用于磨外圆、内圆、平面、螺纹及无心磨等
筒形砂轮	2		用于立轴端面磨
双斜边形砂轮	3		用于磨削齿轮和螺纹

续表

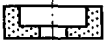
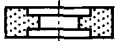
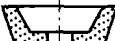
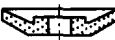
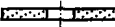





砂轮名称	代号	简 图	主 要 用 途
杯形砂轮	4		用于磨平面、内圆及刃磨刀具
双面凹砂轮	5		主要用于外圆磨削、刃磨刀具及无心磨砂轮和导轮
碗形砂轮	6		用于导轨磨及刃磨刀具
碟形砂轮	7		用于磨铣刀、铰刀、拉刀,大尺寸的用于磨齿轮端面
薄片砂轮	8		主要用于切断和开槽

表 9.2 常用油石形状代号及用途(GB 2484—1984)

油石名称	代号	简 图	用 途
正方油石	SF		用于超精加工、珩磨和钳工
长方油石	SC		用于珩磨、抛光、去毛刺和钳工
三角油石	SJ		用于珩磨齿面、修理曲轴和钳工
圆柱油石	SY		用于珩磨齿面、型面和钳工
半圆油石	SB		用于钳工

2. 磨床

磨床的种类很多,常见磨床有:外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、无心磨床、工具磨床、螺旋磨床、齿轮磨床以及各种专用磨床等。

1) 平面磨床

平面磨床的主要组成如图 9.37 所示。

(1) 床身用以支承和连接磨床各个部件,其上装有工作台,内部有液压传动装置。

(2) 工作台是一个电磁吸盘,用于安装工件或夹具等,其纵向往复直线运动由液压传动装置来实现。

(3) 立柱与工作台面垂直,其上有两条导轨。

(4) 拖板沿立柱垂直导轨向下运动,实现砂轮的径向切入(进刀)运动。

(5) 磨头上装有砂轮,砂轮的旋转运动(主运动)由单独的电动机来完成。当磨头沿拖板的水平导轨运动时,砂轮作横向进给运动。

磨削平面时,对形状规则的工件(钢和铸铁等磁性材料),可直接安装在工作台电磁吸盘上(见图 9.38);对形状不规则的工件,应安装在平口钳中,再将平口钳吸在工件台上;薄

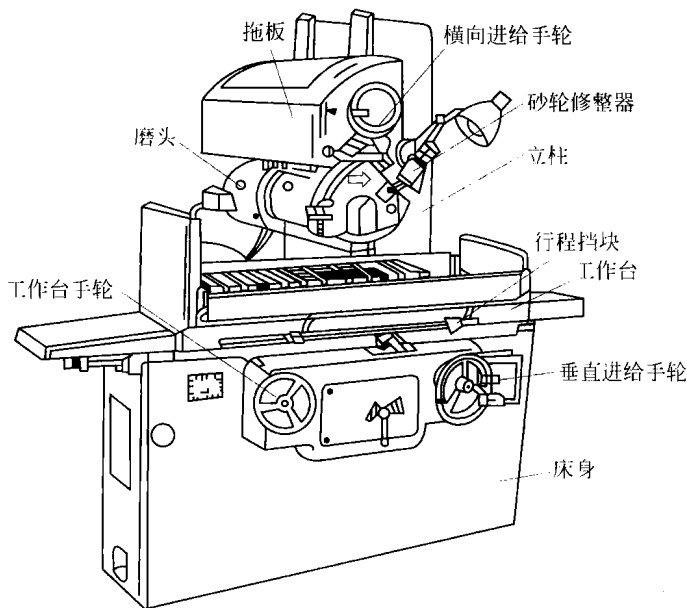


图 9.37 平面磨床

片或薄板等刚性差的工件,磨削时容易变形,可采用挡块和挡板等安装措施(见图 9.39)。工件安装较高和吸盘接触面较小时,也可以采用挡块和挡板安装。

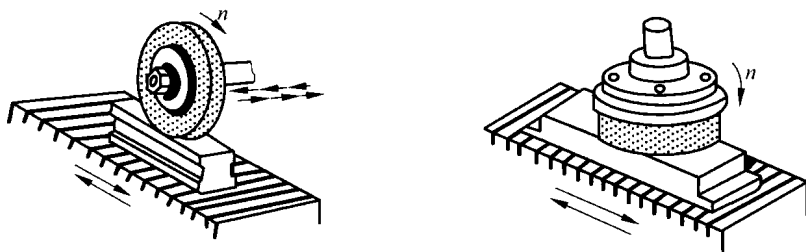


图 9.38 电磁吸盘安装工件的实例

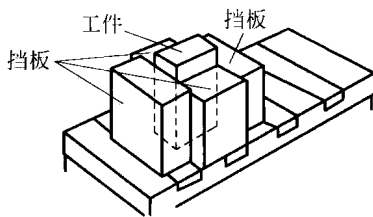


图 9.39 磨削薄片和薄板时工件的安装

2) 外圆磨床

外圆磨床分为普通外圆磨床和万能外圆磨床。万能外圆磨床不仅磨外圆,还可以磨内孔。万能外圆磨床的结构如图 9.40 所示,主要由以下部分组成。

(1) 床身 用来安装机床的各个部件。上部的纵向导轨用以安装工作台,横向导轨用以安装砂轮,内部装有液压传动装置及其传动和操作机构。

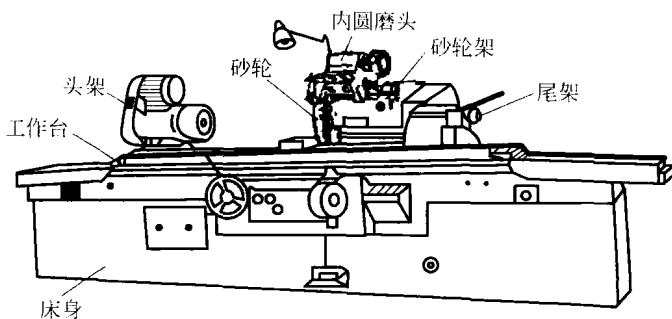


图 9.40 M1432A 型万能外圆磨床

(2) 工作台 由上下两层组成,由液压传动沿床身上面的纵向导轨作往复直线运动,以带动工件实现纵向进给,工作台可以用手轮移动,以便进行调整。工作台的台面上安装头架和尾架。工作台上层可相对下层在水平面内偏转一定角度($\pm 8^\circ$)。

(3) 头架和尾架 头架一端连接动力,另一端安装夹盘或顶尖、拨盘,用以装夹工件。头架在水平面内可以偏转一定角度,以便磨削锥度较大的短锥面。尾架上装有顶尖,用来支撑长度较大的工件。

(4) 砂轮架 砂轮架的主轴端部安装砂轮,由单独电机驱动,砂轮架可沿床身上部的横向导轨作横向进给运动,砂轮架可快进、快退和手动进给。

(5) 内圆磨头 内圆磨头安装在砂轮架上(见图 9.41),使用时扳转到工作位置,不用时翻转到砂轮架上方。在内圆磨头上安装砂轮,由单独电机控制。

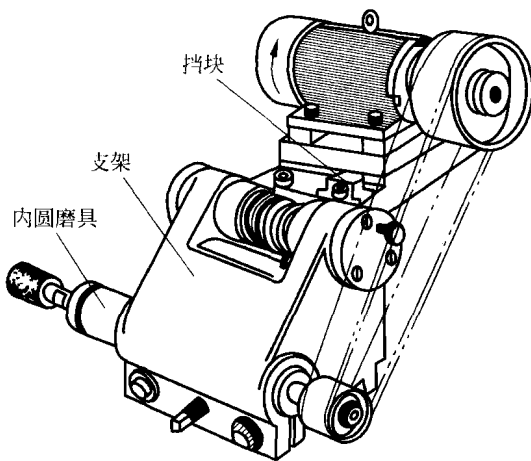


图 9.41 内圆磨头及砂轮支架

在磨床上磨削零件,工件装卡是否正确、稳固,会直接影响加工精度和操作安全。工件的装卡还要求迅速、方便。在外圆磨床上,工件一般用两个顶尖装卡,有时也用卡盘或心轴装卡。

(1) 用两顶尖装卡 这是外圆磨削最常用的装卡方法。这种方法的特点是安装方便、定位精度高。安装时,利用工件两端的中心孔,把工件支撑在前顶尖和后顶尖之间(见图 9.42),工件由拨盘、拨杆和夹头带动旋转,其旋转方向与砂轮旋转方向相同。磨床采用

的顶尖,都是“死”顶尖,它们都是固定在头架和尾架的锥孔中,磨削时顶尖不旋转。这样头架主轴的径向跳动误差和顶尖本身的同轴度误差都不会对工件的旋转运动产生影响,从而可使工件获得较高的圆度和同轴度。对于精度要求较高的轴,在淬火后精磨前要修研中心孔,以提高几何形状精度和降低表面粗糙度。修研的方法一般是采用四棱硬质合金顶尖(见图 9.43)在车床或钻床上进行;当中心的修研精度要求较高时,必须选用油石顶尖或铸铁顶尖作前顶尖,一般顶尖作后顶尖。修研时,头架及油石顶尖旋转,工件不旋转(用手握住)。研好一端再研另一端,如图 9.44 所示。

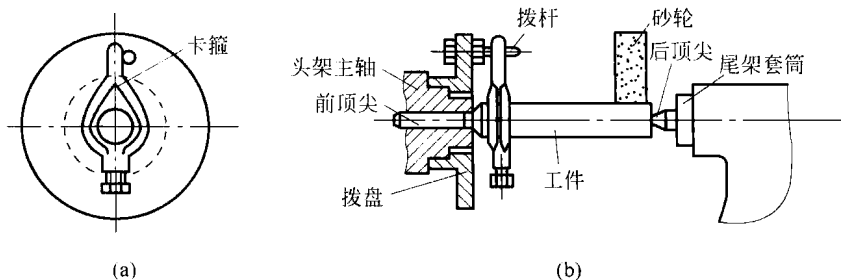


图 9.42 顶尖装夹

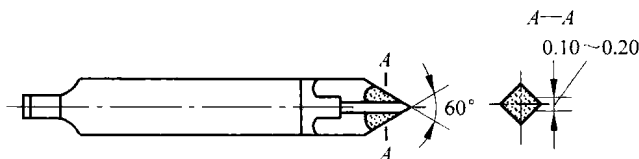


图 9.43 硬质合金顶尖

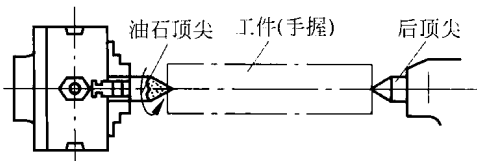


图 9.44 油石顶尖

(2) 用卡盘装卡 卡盘有三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘和花盘三种。三爪自定心卡盘适于装卡无中心孔的圆柱形工件;四爪单动卡盘除装卡圆柱形零件外,还可以装卡外形不太规则的零件。在万能外圆磨床上,利用卡盘在一次装夹中磨削工件的外圆及内孔,可以保证较高的同轴度。

(3) 用心轴装卡 盘套类零件常以内孔定位磨削外圆,往往采用心轴装卡工件,常用心轴有台阶心轴和锥度心轴两种。

9.3.2 磨削加工

1. 外圆磨削

零件的外圆可以在普通外圆磨床和万能外圆磨床上进行磨削。

1) 磨削运动

砂轮旋转运动为主运动,其余运动均为进给运动和辅助运动,如图 9.45 所示。

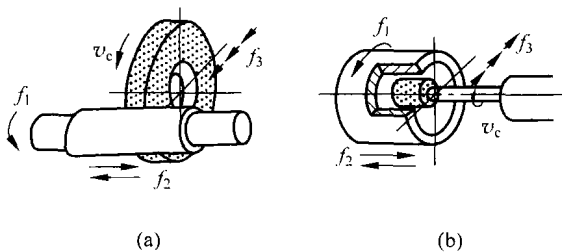


图 9.45 磨削运动分析

(a) 外圆磨削; (b) 内圆磨削

2) 磨削方法

常用的方法分为纵磨法、横磨法和综合磨法三种。

(1) 纵磨法(见图 9.46(a)) 加工精度高, R_a 值较小,尤其是较长的轴类零件,必须采用纵磨法,所以纵磨法在生产中广泛使用。但纵磨法生产率低。

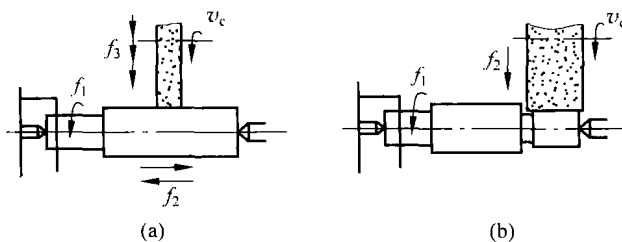


图 9.46 外圆表面磨削的常用方法

(a) 纵磨法; (b) 横磨法

(2) 横磨法(见图 9.46(b)) 是砂轮对应加工部位时,工件不作纵向进给运动;砂轮作轴向进给运动,砂轮与工件接触面大或是工件宽度小,故生产率较高。常用外圆横磨法如图 9.47 所示。

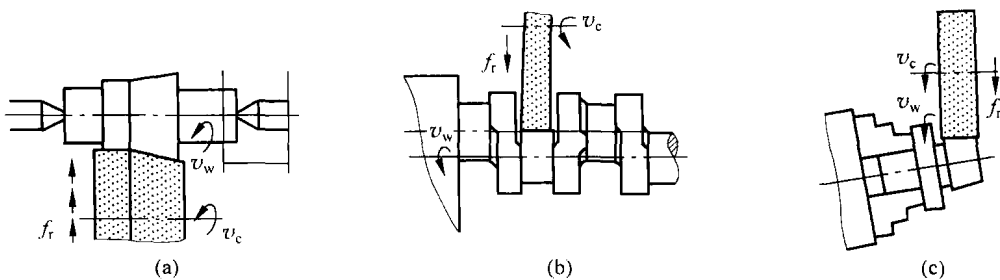


图 9.47 横磨法的应用举例

(a) 磨成形面; (b) 磨曲轴轴颈; (c) 扳转头架磨短锥面

(3) 综合磨法 在生产中,有时加工余量较大,先采用横磨法分段加工,在进行纵磨法加工,是提高生产效率和加工质量的有效途径。

2. 内圆磨削

内圆表面可在内圆磨床上磨削或在万能外圆磨床上进行磨削。

内圆磨削和外圆磨削方法基本相同,由于加工孔,砂轮和砂轮轴的直径受被加工孔孔径尺寸的限制,故排屑、冷却及散热和润滑等条件较差;磨削时容易产生大量的热,因此在相同加工条件下,加工精度和表面粗糙度受到一定影响,故生产率和加工质量较外圆磨削低。常见的内圆磨削方法如图 9.48 所示。

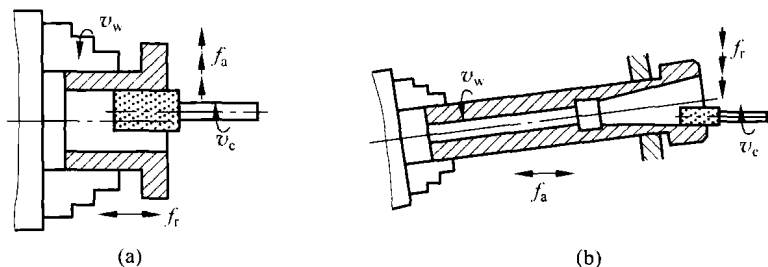


图 9.48 内圆磨削的方法

(a) 磨圆柱孔; (b) 扳转工作台磨锥孔

3. 磨削平面

平面磨削在平面磨床上进行,砂轮旋转是主运动,其余运动均为进给运动和辅助运动。

平面磨削可分为周磨法和端磨法两种。

周磨法(见图 9.49(a))是砂轮圆周表面与工件接触,加工精度高,表面粗糙度 Ra 值小,但生产率较低。周磨法多用于单件、小批量生产,有时也用于大批量生产中。

端磨法(见图 9.49(b))是砂轮端面与工件接触,加工面积大,生产率较高,由于各处直径不同,磨粒的线速度不同,所以加工质量较周磨法差。端磨法多用于大批大量生产中磨削加工精度较低的表面。

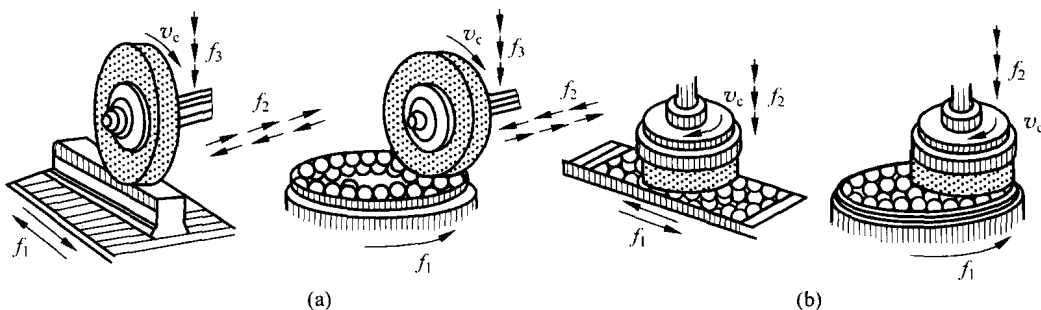


图 9.49 平面磨削方法

(a) 周磨法; (b) 端磨法

4. 其他磨削工作

对于精度要求较高的螺纹、齿轮、花键等通常采用磨削的方法磨削完成,磨削采用专用

机床进行加工,对机床的精度和室温等要求较高。常用精加工磨削如螺纹磨削(见图 9.50(a))、齿形磨削(见图 9.50(b))、花键磨削(见图 9.50(c))。

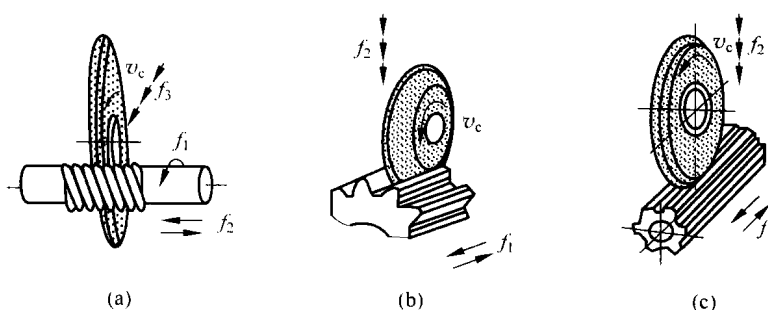


图 9.50 常用精加工磨削

(a) 螺纹磨削; (b) 齿形磨削; (c) 花键磨削

5. 套类零件磨削实例

图 9.51 所示轴套,材料为 45 钢调质,磨削前已经过半精加工,除孔 $\phi 25^{+0.045}_0$ 、 $\phi 40^{+0.027}_0$ 和外圆 $\phi 45^{+0.017}_0$ 及台阶端面外,已加工至要求。磨削加工在万能外圆磨床上完成。磨削时,为了保证位置精度的要求,应尽量在一次安装中完成加工。由于孔 $\phi 25^{+0.045}_0$ 和外圆 $\phi 45^{+0.017}_0$ 及台阶端面不便在一次安装中加工,为保证它们之间位置精度的要求,可先精磨内孔,然后用心轴装夹,磨削外圆和台阶端面。为了保证孔 $\phi 25^{+0.045}_0$ 的加工精度,避免磨削 $\phi 40^{+0.027}_0$ 时的影响,故将孔 $\phi 25^{+0.045}_0$ 的粗、精磨分别在孔 $\phi 40^{+0.027}_0$ 加工的前后进行。具体磨削加工步骤及内容见表 9.3。

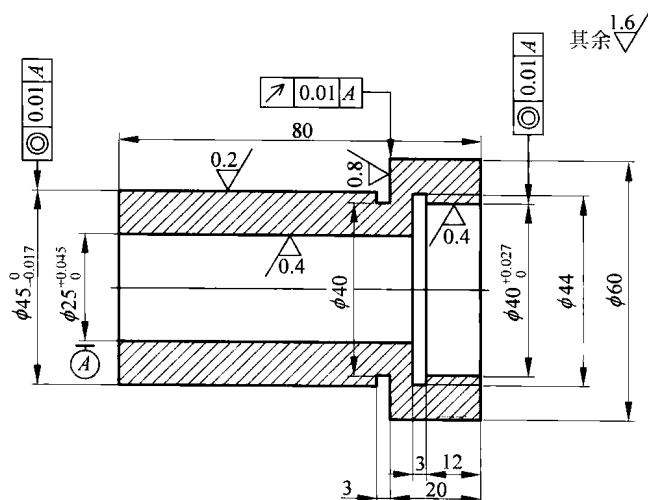


图 9.51 轴套

表 9.3 轴套的磨削步骤及内容

序号	加工内容	安装方法	加工简图	砂 轮
1	粗磨 $\phi 25$ 内孔, 留精磨余量 $0.04 \sim 0.06 \text{ mm}$	以 $\phi 45_{-0.017}^0$ 外圆定位, 用三爪自定心卡盘装夹, 用百分表找正		磨内孔砂轮
2	更换砂轮, 粗、精磨 $\phi 40_{+0.027}^0$ 内孔至要求	用三爪自定心卡盘装夹		磨内孔砂轮
3	更换砂轮, 精磨 $\phi 25_{+0.045}^0$ 内孔至要求	用三爪自定心卡盘装夹		磨内孔砂轮
4	粗、精磨 $\phi 45_{-0.017}^0$ 外圆及台阶端面要求	以 $\phi 25_{+0.045}^0$ 内孔定位, 用心轴装夹		磨外圆砂轮

9.3.3 高效磨削工艺

为提高磨削的效率和零件的加工精度, 常采用高效磨削、砂带磨削等。

1. 高效磨削

高效磨削的磨削效率比常用磨削要高得多, 常见的有高速磨削、缓进给深磨削、恒压力磨削、宽砂轮与多砂轮磨削等。

1) 高速磨削

砂轮线速度在 45 m/s 以上时为高速磨削(普通磨削的砂轮线速度一般为 $30 \sim 35 \text{ m/s}$), 其工作效率和普通磨削相比十分显著, 可提高 $30\% \sim 100\%$; 工件表面粗糙度 Ra 值可达到 $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。发达国家采用高速磨削时, 砂轮的最低线速度达 $200 \sim 250 \text{ m/s}$ (我国普遍采用 $50 \sim 60 \text{ m/s}$, 最高可达 $80 \sim 120 \text{ m/s}$)。高速磨削目前已应用于各种批量的磨削方法。

2) 宽砂轮磨削

对于大批大量的外圆及外成形面磨削时, 常采用宽砂轮磨削, 生产率成倍提高。宽砂轮外圆磨削通常采用横磨法(见图 9.52), 尺寸公差等级可达 IT6, 表面粗糙度 Ra 值为 $0.4 \mu\text{m}$ 。

3) 多砂轮磨削

多砂轮磨削是用多个砂轮组合针对相应的工件进行磨削, 磨削在专用机床和夹具上进行; 多用于大批大量生产中的外圆和平面磨削, 如汽车曲轴磨削(见图 9.53); 其加工质量和生产率与宽砂轮磨削相同。

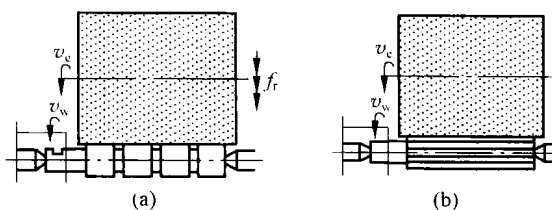


图 9.52 宽砂轮磨削

(a) 磨滑阀轴外圆；(b) 磨花键轴外圆

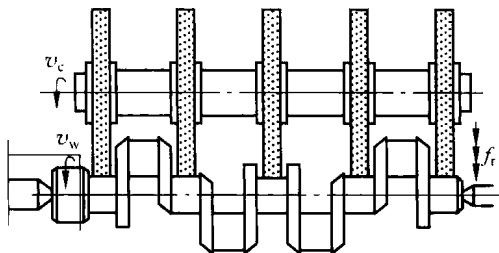


图 9.53 多砂轮磨削

2. 砂带磨削

砂带磨削是以砂带为切削工具,利用高速运动砂带上的磨粒对工件加工表面进行高效磨削的一种新工艺。砂带由基体、磨粒和黏结剂组成。利用静电植砂工艺,使磨粒定向均匀地直立于基体上且锋刃向上(见图 9.54)。

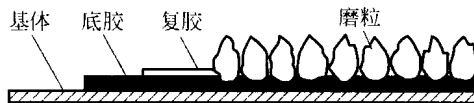


图 9.54 砂带的结构

磨粒具有良好的等高性,容屑空间大。砂带磨削效率高,工作条件好,适宜加工大中型尺寸的外圆、内圆和平面(见图 9.55)。目前发达国家约有 1/3 的砂轮磨削被砂带磨削所取代。

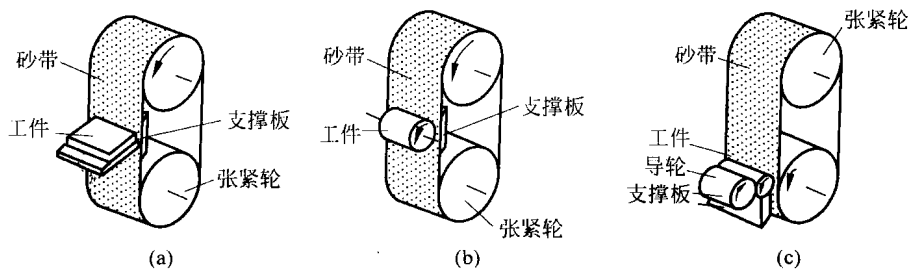


图 9.55 砂带磨削

(a) 磨平面；(b) 磨外圆；(c) 无心磨

9.4 精密加工

精密加工是被加工零件的精度达到 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$, 表面粗糙度 Ra 值为 $0.008 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 的加工方法, 常用于量具、工具、精密机械等制造领域及某些零件或装饰表面的加工。刮削、研磨、珩磨、超精加工和抛光等均属于此范畴。

9.4.1 刮削

1. 刮削概述

钳工利用刮刀在工件的已加工表面上, 再刮去一层极薄金属的加工方法称为刮削。

刮刀材料通常采用碳素工具钢 T12、T12A 等制造, 有平面刮刀和三角刮刀等(见图 9.56), 刀刃磨成负前角。刮刀握法如图 9.57 所示, 右手握刀柄, 左手放在靠近端部的刀体上, 引导刮刀刮削方向及加压。刮刀与工件保持 $25^\circ \sim 30^\circ$ 角, 刮削时用力摇均匀, 使每次刮削深度一致。三角刮刀用于刮削曲面和圆孔(见图 9.57(b))。刮削是精加工。

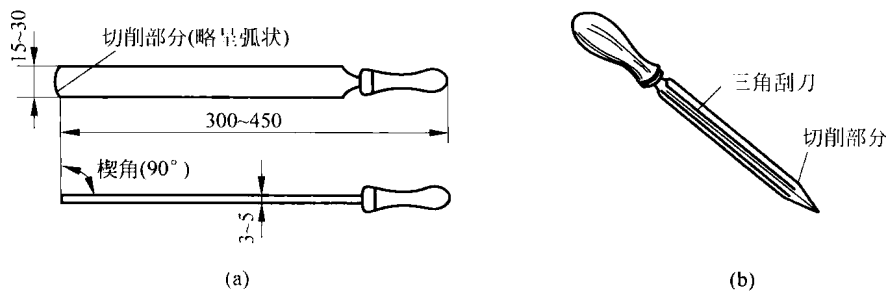


图 9.56 刮刀
(a) 平面刮刀; (b) 三角刮刀

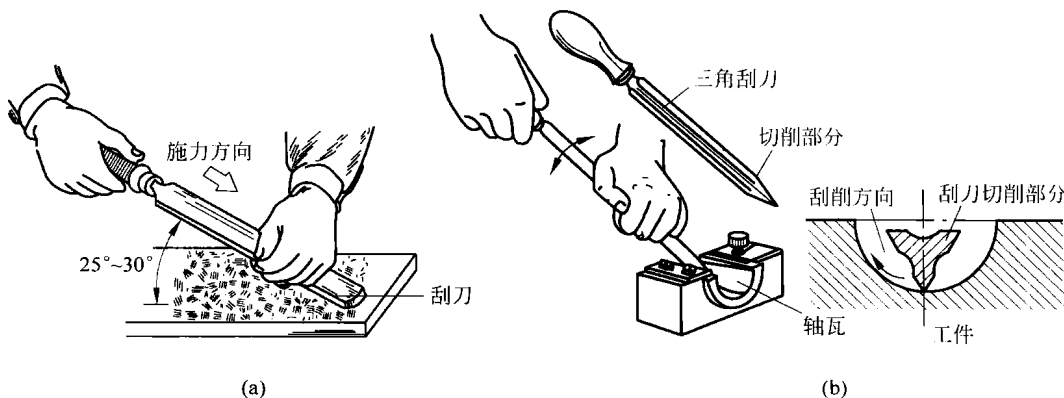


图 9.57 刮削
(a) 刮平面; (b) 刮曲面

刮削过程中,刮刀具有负前角推挤工件材料,既切削又压光已加工表面,使得工件表面光洁。表面粗糙度 Ra 为 $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$, 并有良好的平面度。刮削的加工余量很小,例如,在 $500 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的加工平面内,刮削余量仅 $0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$ 。对于直径 $\phi 40 \sim \phi 180 \text{ mm}$ 的孔,在 $100 \sim 200 \text{ mm}$ 的长度内,刮削余量仅 $0.03 \sim 0.15 \text{ mm}$ 。刮削常用于加工零件的滑动配合面,以增加接触面,减少摩擦磨损;提高零件精度,延长零件使用寿命和美化产品等。通常机床导轨面、滑动轴承的配合面等都需要刮削。

刮削的特点是精度高、劳动强度大、技术要求高、生产率低,常用于单件生产,如生产导轨、平板、平尺、轴瓦等。

2. 刮削要点

首先调整工件位置,使之高低合适,必要时需夹紧。

其次,用显示剂涂擦工件并与标准平板作研点检查。若经研点后工件着色不均,被磨亮的凸起点数不符合要求时,则应将亮点刮去,再作涂色研点检查,再刮,直至合格为止,如图 9.58 所示。通常以 $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 内均匀分布的亮点(又称贴合点)数,表示刮研精度的高低。

除与平面刮削有类似要求外,曲面刮削还按零件功能的要求,分配刮削点的疏密。例如,机床主轴轴瓦,为了改善其储油润滑状况,又要防止漏油,应将轴瓦的两端刮成密集的贴合点;而在中间段刮稀一些。

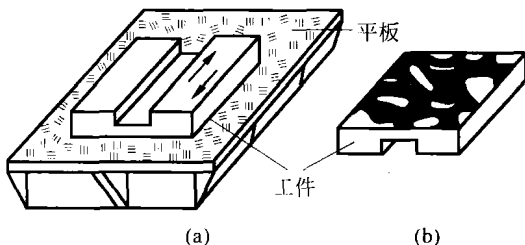


图 9.58 涂色研点法

(a) 配研; (b) 工件上贴合点

3. 刮削检验

刮削后的平面可用检验平板或平尺检验(见图 9.59),检验平尺材料为铸铁,具有较好的刚度、平面度和表面粗糙度。检验方法如下:将检验平尺均匀涂上很薄的红丹油,然后将工件表面与平尺配研,配研后显示工件表面上的高点(研配亮点),这种显示高点的方法称为研点。刮削表面的精度是以 $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 的面积内均匀分布贴合点来表示的(见图 9.60)。普通机床的导轨面为 $8 \sim 10$ 点,精密导轨为 $12 \sim 15$ 点。

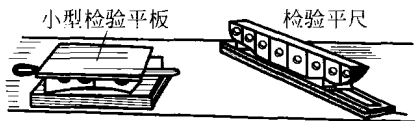


图 9.59 检验平板和平尺

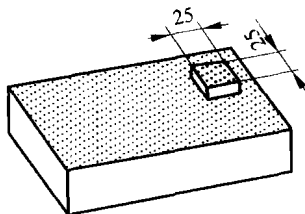


图 9.60 精度检验标准

9.4.2 研磨

研磨是用研具和研磨剂切去一层极薄($0.01\sim 0.1\mu\text{m}$)金属的精密加工方法。

研磨剂由呈微粉状的磨粒(如氧化铝、碳化硅、金刚砂等)、研磨液(如机油、煤油等)及辅料配制而成。研磨剂中的磨料涂敷和镶嵌在磨具上,起切削作用。

1) 研磨的方法

按被研磨表面的形状,研磨分为平面研磨(见图 9.61(a))、外圆表面研磨(见图 9.61(b))、(c))和内圆表面研磨(见图 9.61(d))等。根据生产类型,单件、小批量的研磨平面,通常用于手工进行;研磨内外回转表面常在车床上配以手工进行(见图 9.61(b)、(d))。大批量生产及螺纹和齿轮齿形的研磨应在研磨机或简单的专用设备上进行。生产中还常常采用工件相互对研的方法来获得高精度和低表面粗糙度值,典型实例为高精度等级平板、平尺的对研。

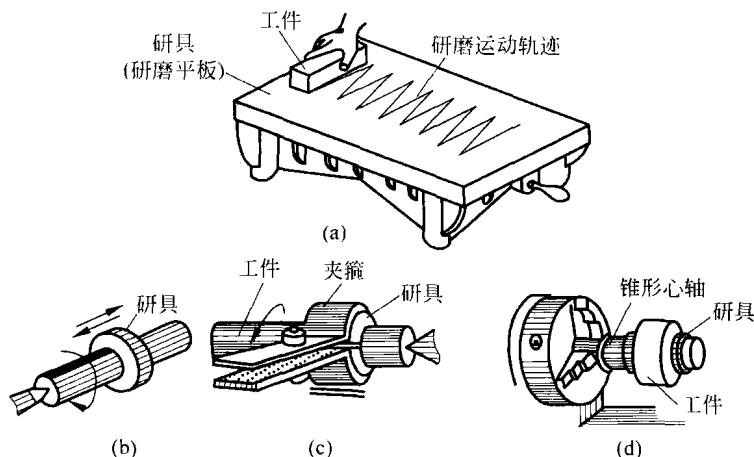


图 9.61 研磨

(a) 手工研磨平面; (b) 手工研磨外圆; (c) 车床研磨外圆; (d) 车床研磨内圆

2) 研磨的方法控制

研磨的质量好坏关键在于所选磨料的种类与磨粒尺寸的大小,研磨的切削速度、运动轨迹、操作方法及研磨时间也起到一定作用。研磨可以达到其他切削加工方法难以达到的精度要求。尺寸公差等级为 IT5~IT3,表面粗糙度 R_a 值为 $0.008\sim 0.1\mu\text{m}$ 。研磨不能提高工件表面间的位置精度,生产率低,劳动强度大。

3) 研磨的应用

研磨可完成钢、铸铁、铜、铝、硬质合金、陶瓷和塑料等多种材料的精密加工,主要用于加工内外圆表面、内外圆锥面、平面、螺纹、齿形等,尤其用于精密加工量规、块规、精密刀具、光学玻璃镜片以及精密配合表面(阀体和阀杆的配合面)等。

9.4.3 其他精密加工简介

生产中常用的精密加工方法有:珩磨(见图 9.62),低粗糙度磨削(见图 9.63),超精加工(见图 9.64)以及抛光(见图 9.65)和振动光饰(见图 9.66)等。

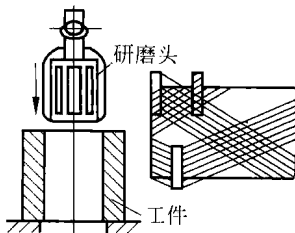


图 9.62 珩磨



微刃



锋利 光钝

图 9.63 低粗糙度磨削(磨粒的微刃等高性)

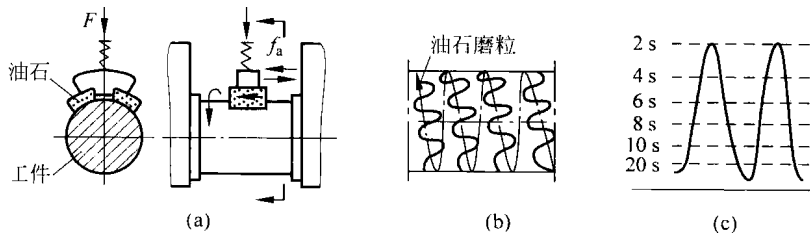


图 9.64 超精加工外圆

(a) 加工原理; (b) 油石磨粒运动轨迹; (c) 凸峰被切

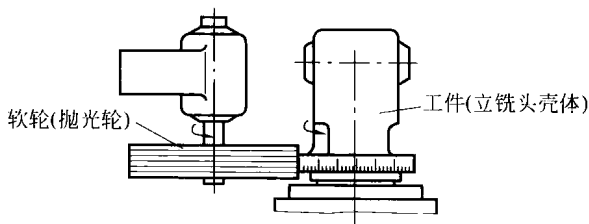


图 9.65 抛光

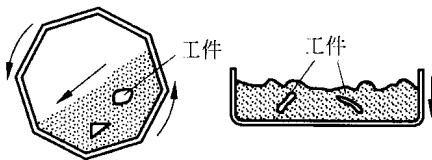


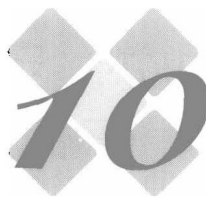
图 9.66 振动光饰

复习思考题

1. 铣床主要加工哪些零件表面? 工件和刀具作哪些运动? 采用什么刀具?
2. 铣床的附件主要有哪些? 各有什么用途?
3. 用圆柱铣刀铣平面时, 什么是顺铣和逆铣? 各有什么特点?
4. 什么是端铣和周铣? 各有什么特点?
5. 在轴上铣键槽选用什么铣床和刀具?

6. 铣床上工件的主要安装方法有哪几种?
7. 铣床主运动是什么? 进给运动是什么?
8. 牛头刨床由哪些部分组成? 各有何作用?
9. 牛头刨床刨削时, 刀具和工件作哪些运动? 刨削与车削比较, 刨削运动有何特点?
10. 刨刀与车刀比较有何异同点?
11. 插削与刨削相比有何区别?
12. 加工平面采用铣削和刨削方法, 比较在加工精度、表面质量、生产率和加工成本方面的优缺点。
13. 简述拉削的特点和应用。
14. 什么是磨削? 在磨床上加工有什么特点?
15. 平面是怎样磨削的? 有哪几种方法? 工件如何安装在工作台上?
16. 磨外圆和磨内圆相比有哪些特点? 为什么?
17. 砂轮为什么要进行修整? 如何修整?

数控加工技术



10.1 数控加工概述

10.1.1 简介

数控技术,简称数控(numerical control, NC),是利用数字化的信息对机床运动及加工过程进行控制的一种方法。

数控机床:用数控技术实施加工控制的机床,或者说装备了数控系统的机床。

数控系统包括:数控装置、可编程序控制器、主轴驱动及进给装置等部分。

数控机床是机、电、液、气、光高度一体化的产品。

10.1.2 数控加工的特点

数控加工和普通机床加工相比具有以下特点。

(1) 自动化程度高、生产效率高。数控机床能按照加工零件的数控程序完成不同零件的自动加工,当改变加工零件时,只要改变数控程序,可通过一次装夹完成多道工序的连续加工。可以节省对工件的检验时间,节省准备、调整和半成品的周转时间,比普通机床的生产率高出4~6倍。对复杂精密零件的加工,效率可以提高十几倍甚至几十倍。

(2) 加工的零件精度高、加工质量稳定。数控机床不但本身的精度较高,还可以通过软件和数控系统进行精度校正和补偿,同时数控机床在自动加工时消除了人为操作误差。所以,数控机床的加工可以获得比机床本身精度更高的加工精度和重复定位精度,使同批零件加工的一致性,产品质量稳定。

(3) 灵活、通用,可以加工形状复杂的工件,有利于产品的更新改型。用数控机床加工工件,在产品改型时只需重新制作信息载体或重新编制和输入程序,就能实现对新零件的加工,这就为单件、小批量生产及试制新产品提供了极大的方便。由于数控机床可以加工形状复杂的零件,所以它在航天、船舶和模具制造业中也得到了广泛的应用。

(4) 有利于实现计算机辅助制造。目前在机械制造中,CAD/CAM已经被广泛应用,数控机床及其加工技术正是计算机辅助制造系统的基础。

(5) 减轻工人的劳动强度,改善劳动条件。数控机床的加工是输入事先编好的程序后由机床自动加工完成,除了装卸零件、操作键盘、观察机床运行外,工人不需要进行繁重的重复手工操作,使其劳动强度得以减轻,工作条件也相应得到改善。

10.1.3 数控机床的工作原理

数控机床是一种用计算机来控制的机床,用来控制机床的计算机,不管是专用计算机,还是通用计算机都统称为数控系统。数控机床的运动和辅助动作均受控于数控系统发出的指令。

下面以图 10.1 所示的三坐标立式数控铣床为例,简要介绍数控机床的工作原理。

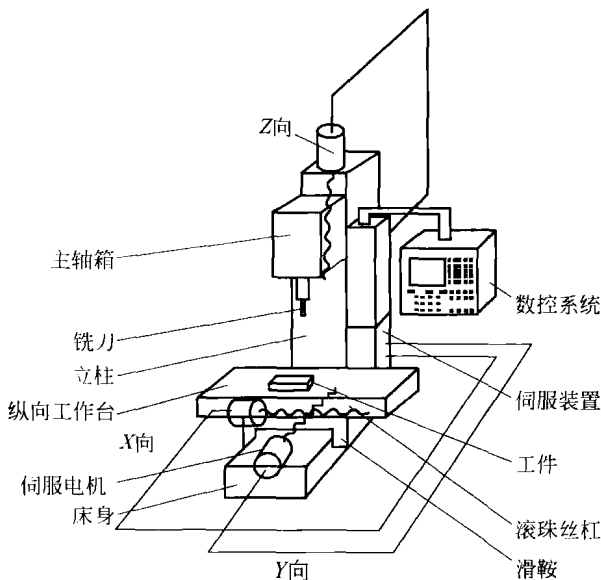


图 10.1 三坐标立式数控铣床示意图

将加工程序输入到数控系统中后,数控系统对数据进行运算和处理,然后向主轴箱内的驱动电机和控制各进给轴的伺服装置发出指令。伺服装置收到指令后向控制三个方向的进给伺服(步进)电机发出电脉冲信号。主轴驱动电机带动刀具旋转,进给伺服电机带动滚珠丝杠使机床的工作台沿 X 轴和 Y 轴移动,主轴箱带动铣刀沿 Z 轴移动,实现对工件的切削加工。具体的工作流程如图 10.2 所示。

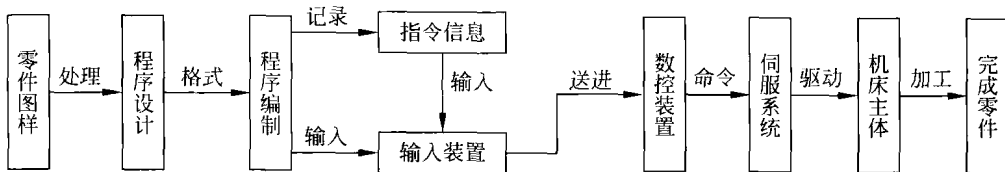


图 10.2 数控机床的工作流程

10.1.4 数控机床的组成及分类

1. 数控机床的组成

数控机床是由数控系统、伺服系统和机床主体三个基本部分组成。

数控系统是数控机床的核心,其主要作用是对输入的零件加工程序进行数字运算和逻辑运算,然后向伺服系统发出脉冲信号。数控系统是一种专用的计算机,它由硬件和软件组成。有些数控机床的数控系统就是将 PC 机配以控制系统软件而构成的。

伺服系统的主要作用是根据数控系统发出的控制指令驱动执行元件运动。伺服系统由驱动装置和执行元件组成。常用的执行元件有步进电机、直流伺服和交流伺服电机三种。

机床主体是加工运动的实际部件,包括主运动部件、进给运动部件(如工作台、刀架)和支撑部件(如床身、立柱)等,如图 10.1 所示。有些数控机床还配备了特殊的部件,如刀库、自动换刀装置和托盘自动交换装置等。数控机床本体结构与传统机床相比,发生了很大的变化,普遍采用了滚珠丝杠、滚动导轨,传动效率更高;由于减少了齿轮的使用数量,使传动系统更为简单。

大多数数控机床还具有位置检测装置,用于检测机床的实际位移量。如伺服系统中的位移比较环节对控制位移量与实际位移量进行比较,根据比较的差值,调整控制信号,适时控制机床的运动位置。

2. 数控机床的分类

1) 按工艺用途分

(1) 金属切削类 这类数控机床分数控车床、数控铣床、数控磨床、数控钻床、数控拉床、数控刨床、数控齿轮加工机床以及各类加工中心。加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。刀库可容纳 10 到 100 多把各种刀具或检具,在加工过程中由程序自动选用和更换,这是它与普通数控机床的主要区别。

(2) 金属成形类 这类机床包括数控板料折弯机、数控直角剪板机、数控冲床、数控弯管机、数控压力机等。

(3) 特种加工类 这种数控机床包括数控线切割机床、数控电火花成形机床、带有自动换刀装置的加工中心、数控切割机床、数控激光热处理机床、数控激光板料成形机床、数控等离子切割机床、数控火焰切割机等。

(4) 其他 其他类型的数控机床包括数控三坐标测量机等。

2) 按伺服系统的类型分类

(1) 开环控制系统 开环控制系统是指不带反馈装置的控制系统,通常使用步进电机作为伺服执行元件。开环控制伺服系统对机械部件的传动误差没有补偿和矫正,工作台的位移精度完全取决于步进电机的步距角精度、机械传动机构的传动精度,所以控制精度较低,适用于经济性数控机床或旧机床的数控化改造。

(2) 半闭环控制系统 半闭环控制伺服系统在伺服系统中装有角位移检测装置(如感应同步器或光电编码器),通过检测角位移间接检测移动部件的直线位移。

由于半闭环控制系统没有把移动部件的传动丝杠螺母机构包括在闭环之内,所以这部分的误差仍会影响移动部件的位移精度。

(3) 闭环控制系统 闭环控制系统是在机床的移动部件上直接装有直线位置检测装置,将测得的实际值反馈到输入端,与输入信号作比较,用比较后的差值进行补偿,直到差值消除为止,可以实现部件的精确定位。

3) 按刀具(机床)的运动轨迹分

(1) 点位控制数控机床 点位控制数控机床是指控制系统只控制刀具或机床工作台从一点准确地移动到另一点,而对其点到点之间的运动轨迹并不控制。刀具在其定位运动的过程中不进行切削,而是快速进给到定位位置,如图 10.3 所示。

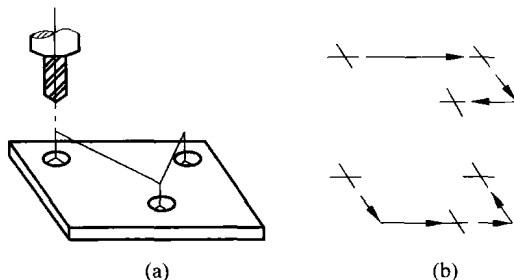


图 10.3 点位控制示意图

常用的点位控制机床有数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床等。

(2) 直线控制数控机床 直线控制数控机床不仅要控制刀具或工作台从一点准确地移动到另一点,而且还要保证在两点之间的运动轨迹是一条直线,如图 10.4 所示为直线控制示意图。属于直线控制的数控机床的有数控车床和数控磨床等。

(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,它能够同时对两个或两个以上的坐标进行控制,从而按给定的规律和速度进行准确的轮廓控制,使其运动轨迹成为所需要的直线、曲线或曲面,如图 10.5 所示。数控铣床、凸轮磨床、齿轮加工机床及线切割机床等都属于轮廓控制数控机床。

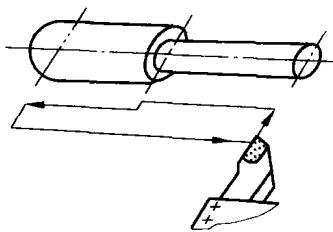


图 10.4 直线控制示意图

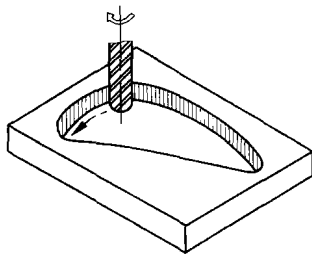


图 10.5 轮廓控制示意图

10.1.5 数控机床的坐标系

为了简化编程和保证程序的互换性,国际标准化组织对数控机床的坐标和方向制定了统一的标准。我国也颁布了 JB 3051—1982《数字控制机床坐标和运动方向的命名》的标准。规定直线运动的坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示,围绕 X 、 Y 、 Z 旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示。具体规定内容和原则如下所述。

1. 坐标系建立的原则

由于机床的结构不同,有的是刀具运动,零件固定;有的是刀具固定,零件运动等。为了编程方便,一律规定为零件固定,刀具运动。

标准坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系,如图 10.6 所示。

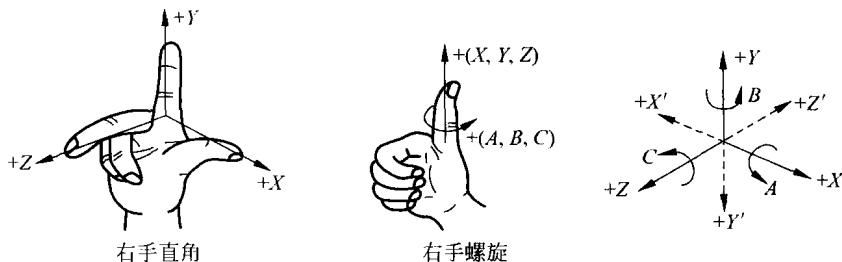


图 10.6 右手笛卡儿坐标系

2. 坐标轴和运动方向的规定

1) Z 坐标轴

在机床坐标系中,规定传递切削动力的主轴轴线为 Z 坐标轴,并取远离刀具的方向为 Z 轴的正方向。

对于没有主轴(或有多多个主轴)的机床(如数控龙门刨床),则规定 Z 坐标轴垂直于工件装夹面方向。

2) X 坐标轴

X 轴是水平的,它平行于工件的装夹面。

对于工件旋转的机床,X 轴在工件的径向上,并且平行于横滑座。取横向离开工件旋转中心的方向为 X 轴的正方向。

对于刀具旋转的机床,又有立、卧式机床之分。如 Z 坐标是水平(卧式)的,当从主要刀具的主轴向工件看时,+X 坐标方向指向右方;如 Z 坐标是垂直(立式)的,当从主要刀具的主轴向立柱看时,+X 坐标方向指向右方。

对于刀具和工件均不旋转的机床(如刨床),X 坐标平行于主要切削方向,并以该方向为正方向。

3) Y 坐标轴

在确定了 Z 轴和 X 轴之后,Y 坐标轴按右手直角笛卡儿坐标系确定。

4) 旋转轴

旋转运动用 A、B、C 表示,规定其分别为绕 X、Y、Z 轴旋转的运动。A、B、C 的正方向,相应地表示在 X、Y 和 Z 坐标轴的正方向上,按右手螺旋前进方向,如图 10.6 所示。

5) 机床坐标系和工件坐标系

机床坐标系通常建立在机床的一些固定的基准线或基准面上,它是机床上固有的坐标系,坐标系的原点就是机床原点。

工件坐标系是在编程时设定的坐标系,坐标系的原点(工件原点)根据机床调整、编程、加工的方便性等情况确定。工件坐标系一般以机床坐标系为参考坐标系。

10.1.6 数控编程基础

数控机床是按照事先编制好的加工程序,自动地对被加工零件进行加工。使用数控机床加工零件时,程序编制是一项重要的工作。迅速、正确而经济地完成程序编制,对于有效地利用数控机床具有决定性作用。

1. 程序编制的内容及步骤

一般说来,数控机床程序的编制有以下 5 个步骤。

(1) 工艺分析 在对零件图全面分析的基础上,确定零件的装夹定位方法、加工路线(如对刀点、换刀点、进给路线)、刀具及切削用量(如进给速度、主轴转速)等工艺参数。

(2) 数值计算 根据零件图和所确定的加工路线,计算出刀具中心运动轨迹。一般的数控装置具有直线插补和圆弧插补功能。因此,当加工由圆弧、直线组成的简单零件时,只需计算出零件轮廓上相邻几何元素的交点或切点的坐标值,得出直线的起点、终点,圆弧的起点、终点和圆心坐标值。

当零件的形状比较复杂时,一般采用计算机进行数值计算。

(3) 编写零件加工程序 在获得刀位数据后,按照机床规定的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数以及辅助功能(换刀、主轴正反转、冷却液开关等)编制成加工程序。

(4) 程序输入 程序编制好后,输入给机床的数控装置。

(5) 程序校验和零件试切 编制好的程序必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是利用数控系统的图形模拟功能来显示刀具的运行轨迹。当采用 CAM 编程时,还可利用 CAM 软件的加工轨迹仿真功能和后置处理校核 G 代码,进行程序校验。上述这些办法只能检验刀具的运动轨迹是否正确,不能检查加工精度。因此,为了保证零件的加工精度,还应对零件进行试切。如果通过试切发现零件的精度达不到要求,则应进行程序和控制介质的修改,以及采用误差补偿方法进行刀具补偿,直到加工出合格的零件为止。

2. 数控程序的编制方法

1) 手工编程

利用一般的计算工具,通过各种数学方法,人工进行刀具轨迹的运算,并编制指令。这种方法比较简单,很容易掌握,适应性比较大,适用于中等复杂程度或计算量不大的零件编程,对机床操作人员来讲必须掌握。

2) CAD/CAM 自动编程

利用 CAD/CAM 技术进行零件设计、分析和造型,并通过后置处理、程序校验和修改后,形成加工程序。该方法适应面广、效率高、程序质量好,适用于各类柔性制造系统

(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)以及其他 CAD/CAM 集成系统。

自动编程可以大大地减轻编程人员的劳动强度,编程效率可提高几十倍甚至上百倍。同时解决了手工编程无法解决的复杂零件的编程难题。因此,除了少数情况下采用手工编程外,原则上都应采用自动编程。由于手工编程是自动编程的基础,对于初学者来说,仍应从学习手工编程入手。

3. 程序代码

数控加工程序是根据数控机床规定的语言规则及程序格式来编制的。因此,程序编制人员应熟悉编程中用到的各种代码、加工指令和程序格式。

目前,国际上有两种通用的数控标准,即国际标准化组织的 ISO 标准和美国电子工业学会的 EIA 标准。我国采用的是 ISO 标准。

4. 程序结构与格式

1) 程序结构

一个完整的程序由程序号、程序内容和程序结束三部分组成。程序结构示例如下:

O0001	程序号
N1 G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;	第一程序段
N2 Z100.0;	第二程序段
N3 G41 X20.0 Y10.0 D01;	⋮
N4 Z2.0;	
N5 G01 Z-10.0 F100;	
N6 Y50.0 F200;	
N7 X50.0;	
N8 Y20.0;	
N9 X10.0;	
N10 G00 Z100.0;	
N11 G40 X0 Y0 M05;	
N12 M30;	程序结束

(1) 程序号 程序号即为程序的开始部分,为程序的开始标记,以便在数控装置存储器中的程序目录中查找、调用。每个程序必须有程序号。程序号由地址码和若干位数字编号组成,如上例中的地址码 O 和编号数字 0001。也有的系统地址码用 P 或 % 表示。

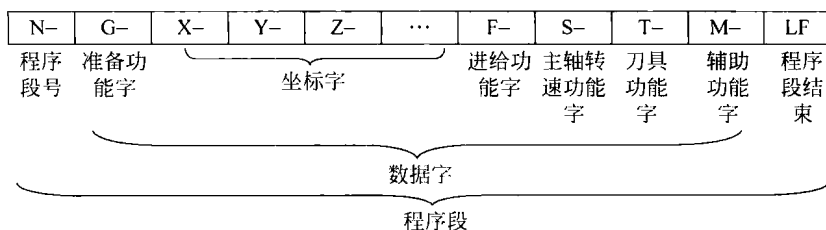
(2) 程序内容 程序内容是整个程序的主要部分,它由多个程序段组成。每个程序段由若干个字组成。每个指令字代表某一信息单元,它代表机床的一个位置或一个动作。

(3) 程序结束 程序结束一般用辅助功能代码 M02(程序结束)和 M30(程序结束,返回起始点)来表示。

2) 程序段格式

程序段格式是指一个程序段中的字、字符和数据的书写规则。它由语句号字、数据字和程序段结束符组成。每个字的字首是一个英文字母,称为字地址码。字地址码可编程序段格式如下:

程序段中各字的先后排列顺序并不严格。但为了书写、输入和校对的方便,在习惯上程序字按上述的顺序排列。不需要的字以及与上一程序段相同的继续使用的字可以省略。



(1) 程序段号 N(简称顺序号) 通常用数字表示,在数字前还冠有标识符号 N,如 N20、N0020 等。

(2) 准备功能 G(简称 G 功能) 它由准备功能地址 G 和数字所组成,如: G01,表示直线插补,也可以写为 G1。G 功能的代号已标准化。

(3) 坐标字 由坐标地址符和数字组成,且按一定的顺序排列。各坐标轴的地址符按下列顺序排列: X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C。

X、Y、Z 为刀具运动的终点坐标位置,现代 CNC 系统一般都对坐标值的小数点有严格要求,比如 32 应写成 32., 否则有的系统会将 32 视为 32 μm ,而不是 32 mm。而写成 32., 则均会被认为是 32 mm。

(4) 进给功能 F 由进给地址符及数字组成,数字表示所选定的进给速度。如: F152., 表示进给速度为 52 mm/min,其小数点与 X、Y、Z 后的小数点同样重要。

(5) 主轴转速功能 S 由主轴地址符及数字组成,数字表示主轴转数,单位为 r/min。

(6) 刀具功能 T 由刀具地址符和数字组成,用以指定刀具的号码。

(7) 辅助功能 M(简称 M 功能) 由辅助操作地址符 M 和两位数字组成。

(8) 程序段结束符号 结束符号写在每一程序段后,表示程序段结束。在书写或 CRT 显示器上用“;”表示。当制作穿孔纸带时,EIA 代码用 CR 表示,ISO 代码用 LF 表示。

常用的程序字的含义如表 10.1 所示。

表 10.1 常用的程序字功能

功 能 字	地 址 符	含 义
程序号	O	表示程序的名称
顺序号	N	表示程序段的代号
准备功能字	G	指定机床的运动方式
辅助功能字	M	指定机床的开/关等辅助功能
坐标字	X、Y、Z	X、Y、Z 轴的绝对坐标值
	U、V、W	X、Y、Z 轴的增量坐标值
	A、B、C	绕 X、Y、Z 轴的旋转坐标值
	I、J、K	圆弧中心坐标值
	R	圆弧半径值
进给功能字	F	指令刀具中心的进给速度
主轴转速功能字	S	指令主轴的转速

续表

功 能 字		地 址 符	含 义
刀具功能字		T	指定刀具的刀具号和补偿值
其他字	偏移号	H 或 D	指令刀具补偿值
	重复次数	L	指令固定循环和子程序的执行次数
	参数值	R, Q	指令固定循环中设定的参考平面或进给深度值
	暂停时间	P, X	指令暂停时间

10.2 数控车削加工

10.2.1 数控车床简介

数控车床是由数控系统、各轴伺服系统和机床本体以及液压装置、气动装置、冷却系统、润滑系统和排屑系统等组成。普通车床靠手工操作机床来完成各种切削加工；而数控车床是将事先编制好的加工程序输入到机床的数控系统中，由数控系统发出指令来控制 X、Z 轴的伺服电机去控制车床进给部件的动作顺序、移动量和进给速度，再配以主轴的转速和转向，自动完成各种零件的加工。

数控车床与普通车床结构上的区别如表 10.2 所示。

表 10.2 数控车床与普通车床结构区别

	运动传动	床 头 箱	进 给 机 构	交换齿轮	机械结构
普通车床	齿轮副	多级齿轮副	齿轮副-光(丝)杠-溜板箱	有	复杂
数控车床	伺服装置	伺服电机直接驱动主轴	伺服电机-滚珠丝杠-溜板及刀架	无	简单

10.2.2 数控车削加工工艺过程

- (1) 确定数控车削加工表面，明确加工内容和技术要求；
- (2) 进行工艺性分析，其中包括零件加工工艺性；
- (3) 设定坐标系：在已经建立机床坐标系的基础上确定工件坐标系和程序原点；
- (4) 制定加工路线，也就是确定刀具的运动轨迹和方向。在制定加工路线时要考虑刀具对刀点(程序执行时刀具相对于工件运动的起点)和换刀点(刀架转动换刀时的位置)；应考虑粗车、半精车和精车的路线，在保证加工精度的前提下尽可能以最短的加工路线完成零件的加工，缩短单件的加工时间。
- (5) 合理确定切削用量，在加工进行时还应根据零件的材料和刀具的使用寿命选择合适的主轴转速 n 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 。
- (6) 选择合适的刀具，数控车床常用刀具一般为尖形车刀、圆弧形车刀以及成形车刀等

三种。数控车床上尽量使用标准化、系列化刀具。刀具使用前应进行严格的测量以获得精确资料,并由操作者将这些数据输入数控系统中,经程序调用而完成加工过程。

(7) 编制加工程序,检验调试。

(8) 输入程序进行加工。

10.2.3 数控车床手工编程

数控系统是数控机床的核心。数控机床根据功能和性能要求,配置不同的数控系统。系统不同,其指令代码也有所不同。因此,编程时应按照所使用数控系统代码的编程规则进行编程。

1. 数控车床编程基础

1) 数控车床坐标系的设定

(1) 数控车床的机床坐标系 数控车床的机床坐标系是由 X 、 Z 轴建立起来的二维坐标系。在机床坐标系中规定, Z 轴与主轴平行,为纵向进刀方向,远离工件的方向为正; X 轴与主轴垂直,为横向进刀方向,也是远离工件的方向为正。机床坐标系是制造和调整机床的基础,也是设置工件坐标系的基础,一般不允许随意变动,如图 10.7 所示。

数控机床开机时,必须先进行机床刀台回零操作。否则,在加工过程中容易发生碰撞事故。当完成返回机床参考点操作以后,建立机床坐标系。

(2) 工件坐标系的确定 工件坐标系原点选在工件的回转中心上,一般设置在工件的右端面上,如图 10.8 所示。

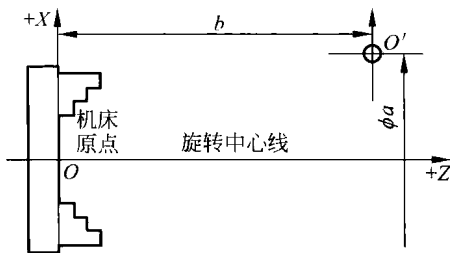


图 10.7 机床坐标系

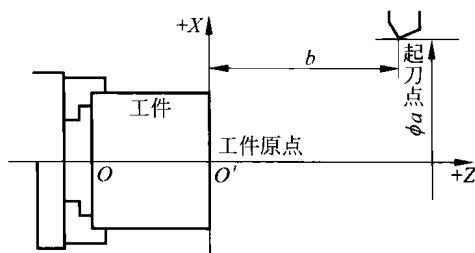


图 10.8 工件坐标系

2) 主轴功能

主轴功能也称主轴转速功能,即 S 功能,它是用来指令主轴转速的功能。 S 功能用地址符 S 及其后的数字来表示,单位为 r/min 。例如 $S800 M03$ 表示主轴正转,转速为 $800 r/min$ 。

3) 刀具指令 T

刀具指令 T 是数控系统进行刀具选择和刀具补偿的功能,由 4 位数组成。前两位为工位号,后两位为刀补号。刀补是对刀时刀具的补偿值。通常工位号和刀补号一致。如: $T0101$ 表示工位号为 01 号的刀具,刀补值为地址码为 01 号中的补偿量。

2. 数控车床常用指令及编程方法

1) 数控车床常用准备功能(G 代码)指令

G 代码如表 10.3 所示,分为以下两类:

模态 G 代码 在指令同组其他 G 代码前该 G 代码一直有效;

非模态 G 代码 该代码只在指令它的程序段中有效。

表 10.3 数控车床常用准备功能

代码	功 能	代码	功 能
▀ G00	快速定位	G50	设定工件坐标系
▀ G01	直线插补	G70	精加工循环
G02	圆弧插补(顺圆)	G71	粗车外圆循环
G03	圆弧插补(逆圆)	G72	粗车端面循环
G04	停刀,准确停止	G73	成形切削复循环
G20	英制输入	G75	外径/内径钻孔循环
G21	公制输入	G76	螺纹切削复循环
G27	返回参考点检查	G90	外径/内径车削循环
G28	返回参考位置	G92	螺纹切削循环
G32	螺纹加工	G94	端面车削循环
▀ G40	取消刀尖半径补偿	G98	每分钟进给
G41	刀尖半径补偿	▀ G99	每转进给

注：标有“▀”的 G 代码为本数控系统通电后默认状态。

具体 G 指令代码介绍如下。

(1) 快速移动指令 G00

G00 用于快速定位刀具,不对工件进行加工。其编程格式是

G00 X(U)_Z(W)_;

(以下指令中 X/U 均表示直径)

其中：X、Z 为刀具移动的目标点坐标。

(2) 直线插补指令 G01

直线插补指令是直线运动指令,命令刀具在两个坐标间以插补联动方式按指定的进给速度作任意斜率的直线运动。该指令是模态指令,其编程格式是

G01 X(U)_Z(W)_F_;

其中：X、Z 为刀具移动的目标点坐标,F 为进给速度。

注意：在数控车床编程时,F 表示刀具中心运动时的进给速度。由地址码 F 和后面若干个数字组成。如图 10.9。采用何种表示方法取决于每个系统所采用的进给速度的指定方法,本系统采用的指定单位是 mm/r。

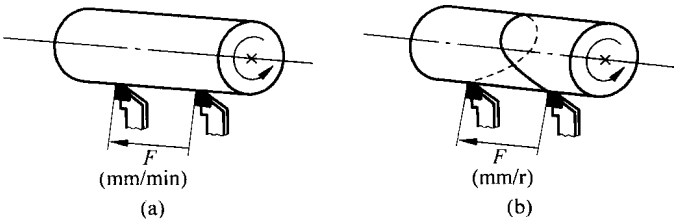


图 10.9 直线进给率与旋转进给率
(a) 直线进给率；(b) 旋转进给率

例:

```
G01 X100 Z100 F0.2;
```

表示刀具将以 0.2mm/r 的速度从当前位置移动到 X100 Z100 的位置上。刀具在移动过程对工件进行切削。

(3) 圆弧插补指令 G02/G03

圆弧插补指令命令刀具在指定平面内按给定的进给速度 F 作圆弧运动,切出圆弧轮廓。其指令格式有两种:

① 用 I、K 指定圆心位置

```
G02 } X(U)_Z(W)_I_K_F_;
G03 }
```

其中: X、Z 为圆弧的终点坐标; I、K 为圆弧起点相对于圆心坐标的值。

② 用圆弧半径指定圆心位置

```
G02 } X(U)_Z(W)_R_F_;
G03 }
```

其中: X、Z 为目标点坐标, R 为圆弧半径。

注意: 当用半径指定圆心位置时, 由于在同一半径 R 的情况下, 从圆弧的起点到终点有两个可能的圆弧, 为区别二者, 规定圆心角 $\alpha \leq 180^\circ$ 时, 用 $+R$ 表示, 如图 10.10 中的圆弧 1; $\alpha > 180^\circ$ 时, 用 $-R$ 表示, 如图 10.10 中圆弧 2。

例:

```
G02 X60 Z10 R30 F0.2;
```

表示加工半径为 30 mm 的顺时针圆弧, 刀具以 0.2 mm/r 的速度运动到 X60, Z10 的位置。

例:

```
G03 U40 W-20 R20 F0.2;
```

表示加工逆圆弧, 刀具在 X 方向的实际变化量是 20 mm, Z 方向的实际变化量是 -20 mm。

(4) 螺纹切削固定循环指令 G92

指令格式:

```
G92 X(U)_Z(W)_R_F_;
```

其中: X 表示加工后的螺纹底径, R 代表起始 X 值到终止 X 值的变化量(不写时为圆柱螺纹), F 为螺距。在螺纹加工时根据实际情况需多次进刀, 通过调整 X 的值来调整切削深度, 直至最终加工到螺纹底径。

【例 10.1】 加工螺纹 M20×1。

加工程序:

```
G00 X25.0 Z2.0;
G92 X19.2 Z-30 F1;
X18.8;
```

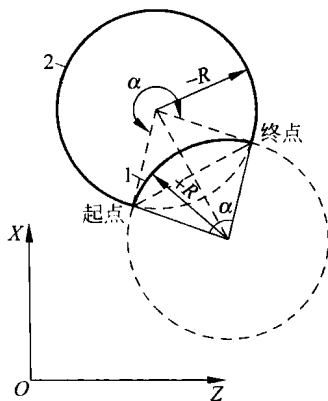


图 10.10 圆弧插补时 R 与 -R 的区别

X18.6;

分 3 次进刀,每次切削深度分别为 0.4 mm、0.2 mm、0.1 mm。

(5) 其他常用的循环指令 G70、G71、G72、G73

在数控车床上对内(外)圆柱、端面、螺纹等表面进行粗加工时,刀具往往要多次反复地执行相同的动作,直至将工件切削到所需要的尺寸。数控系统可以用一个程序段来设置刀具做反复切削,这就是循环功能。循环功能包括单一固定循环功能和多重复合循环功能。利用单一固定循环功能编程已经有效地简化了程序,但还不够十分简化。如果应用多重复合循环功能,只须指定精加工路线和粗加工的背吃刀量,系统就会自动计算出粗加工路线和加工次数,因而可以进一步简化加工程序和编程工作。它主要在粗车和多次切削螺纹的情况下使用,如用棒料毛坯车削阶梯相差较大的轴,或切削铸件、锻件的毛坯余量等。

① 外圆(内孔)粗切复循环指令 G71

指令格式:

G71 U_R_;

G71 P_Q_U_W_F_S_T_;

其中,U 为切削深度(半径值);R 为退刀量;P 为加工路径的开始程序 N 号;Q 为加工路径的结束程序 N 号;U 为 X 向的加工余量(直径值);W 为 Z 向的加工余量。

路径程式中的 F、S、T 指令只在精加工中有效。粗加工的 F、S、T 是以粗切削复循环的指令来指定或先前所指定。

② 端面粗加工循环

指令格式:

G72 W_R_;

G72 P_Q_U_W_F_;

指令功能同 G71。

③ 成形切削复循环 G73

指令格式:

G73 U_W_R_;

G73 P_Q_U_W_F_;

其中,U 为 X 方向上总的退刀量(半径值);W 为 Z 方向上总的退刀量;R 为切削次数;P 为加工路径的开始程序 N 号;Q 为加工路径的结束程序 N 号;U 为 X 向的加工余量(直径);W 为 Z 向的加工余量。

④ 精加工复合循环 G70

当 G71、G72、G73 粗加工完成后,用 G70 指令精加工循环,切除粗加工中留下的余量。

指令格式:

G70 P_Q_;

其中,P 为精加工程序开始程序段顺序号;Q 为精加工程序结束程序段顺序号。

【例 10.2】 如图 10.11 所示,试用 G73 成形切削复循环指令编制其加工程序。各方加工余量均为 10 mm。

```

N10 T0101;
N20 S200 M03;
N30 G00 X140.0 Z40.0;
N40 G73 U9.5 W9.5 R3;
N50 G73 P100 Q200 U1.0 W0.5 F0.25;
N100 G00 X20.0;
N110 Z-20.0 F0.1 S350;
N120 X40.0 Z-30.0;
N130 Z-40.0;
N140 G02 X80.0 Z-70.0 R30.0;
N150 G01 Z100.0;
N200 X105.0;
N210 G70 P100 Q200;
N215 G00 X200.0 Z150.0;
M02;

```

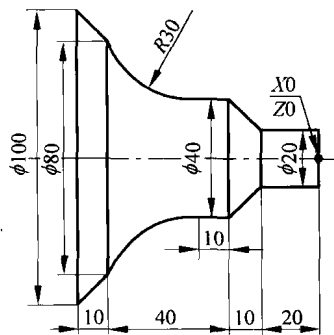


图 10.11 固定形状粗加工循环

2) 数控车床常用的辅助功能

辅助功能也叫 M 功能或 M 代码,它是控制机床或系统开关功能的一种命令。常用的辅助功能编程代码见表 10.4。

表 10.4 常用的辅助功能 M 代码及其功能与用途

序号	代码	功 能	用 途
1	M00	程序停止	实际上是一个暂停指令。当执行有 M00 指令的程序段后,主轴的转动、进给、切削液都将停止。它与单程序段停止相同,模态信息全部被保留,以便进行某一手动操作,如换刀、测量工件的尺寸等。重新启动机床后,继续执行下面的程序
2	M01	选择性停止	
3	M02	程序结束	该指令编在程序的最后一条,表示执行完程序内所有指令后,主轴停止、进给停止、切削液关闭,机床处于复位状态
4	M03	主轴正转	
5	M04	主轴反转	
6	M05	主轴停止转动	
7	M08	冷却液开	
8	M09	冷却液关	
9	M30	程序结束	使用 M30 时,除表示执行 M02 的内容之外,还返回到程序的第一条语句,准备下一个工件的加工
10	M98	子程序调用	
11	M99	子程序返回	

注:各种机床的 M 代码规定有差异,编程时必须根据说明书的规定进行。

10.2.4 综合实例

【例 10.3】 用外圆粗加工循环指令编制图 10.12 所示零件的加工程序。要求循环起

始点在 A(46,2), 切削深度为 1.5 mm, 退刀量为 1 mm。X 方向精加工余量为 0.2 mm, Z 方向精加工余量为 0.2 mm。

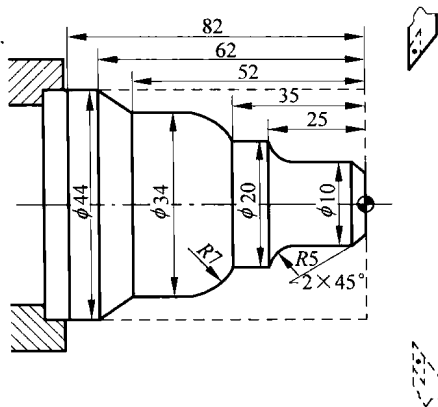


图 10.12 典型加工零件

加工程序如下:

O0010	
N10 T0101;	确定 1 号刀具 1 号刀补
N20 S400 M03;	主轴以 400 r/min 正转
N30 G00 X46 Z3;	刀具快速移动到循环起始点
N40 G71 U1.5 R1;	设定循环的切削深度和退刀量
N50 G71 P60 Q140 U0.2 W0.2 F0.2;	设定循环的程序段、余量、进给量
N60 G00 X0;	精加工轮廓起始行
N70 G01X10 Z-2;	精加工 2×45°倒角
N80 Z-20;	精加工 φ10 外圆
N90 G02 U10 W5 R5;	精加工 R5 外圆
N100 G01 W-10;	精加工 φ12 外圆
N110 G03 U14 W-7 R7;	精加工 R7 圆弧
N120 G01 Z-52;	精加工 φ34 外圆
N130 U10 W-10;	精加工外圆锥
N140 W-20;	精加工 φ44 外圆, 精加工轮廓结束行
N150 G70 P60 Q120	精加工轮廓
N160 X50;	退刀
N170 G00 X80 Z80;	快速返回对刀点
N180 M05 M30;	主程序结束并复位

10.2.5 数控车床自动编程

自动编程是利用计算机专用软件编制数控加工程序的过程。随着计算机技术的发展, 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术逐渐走向成熟。目前, 以 CAD/CAM 一体化集成形式的软件已成为数控加工自动编程系统的主流。这些软件可以采用人机交互方式, 进行零件几何建模(绘图、编辑和修改), 对机床与刀具参数进行定义和选择, 确定刀具相对于零件的运动方式、切削加工参数, 自动生成刀具轨迹和程序代码, 最后经过后置处理, 按照所使

用机床规定的文件格式生成加工程序。通过 DNC 传输软件或磁盘等存储工具将加工程序传送到数控机床的数控单元,实现对零件的数控加工。

目前,实际应用较多的几种 CAD/CAM 集成化软件有: CAXA 数控车、UG、CAD/CAM 系统、Pro/Engineer、CATIA、Mastercam 和 CIMATRON 等。它们普遍都具有三维造型、数控加工等功能,具有各种通用和专用的数据接口用于数据传输。CAD/CAM 自动编程在数控车削加工中不作重点讲述,需要者可查阅相关软件的用户说明书。

10.2.6 数控车床加工操作

本书主要以 FANUC OiMate-TB 数控系统为例来介绍数控车床加工操作,操作面板如图 10.13 所示。

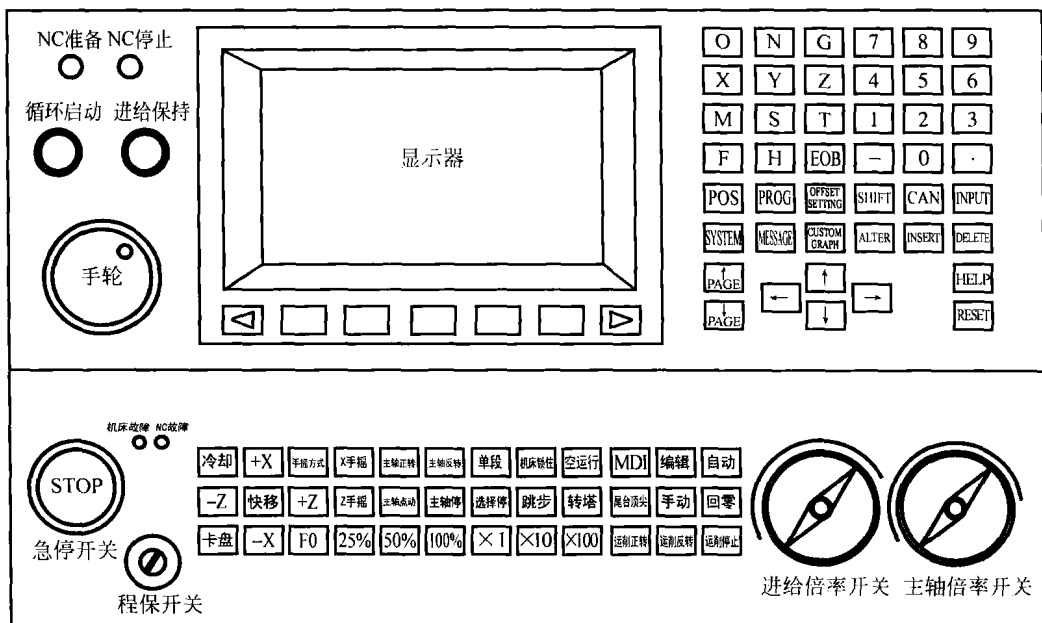


图 10.13 FANUC OiMate-TB 型数控机床操作面板示意图

1. CNC 系统操作面板

图 10.14 为 CK6136H 数控车床 CNC 系统操作面板(即 CRT/MDI 面板),其主要由一个显示器(CRT)和各类控制按键组成。

1) 显示器

显示器可显示刀具实际位置、加工程序、坐标系、刀具参数、机床参数、报警信息等。显示器显示的内容随不同的主功能、子功能状态而异。

2) 各类控制键功能

(1) 启动开关: 循环启动按钮(绿色);进给保持按钮(红色)。

启动开关用于在自动方式或 MDI 方式下启动程序执行。在自动方式下,只要按一下启动按钮,程序就开始运行,并且开关上指示灯亮。当按下停止按钮时,程序暂停,指示灯亮,

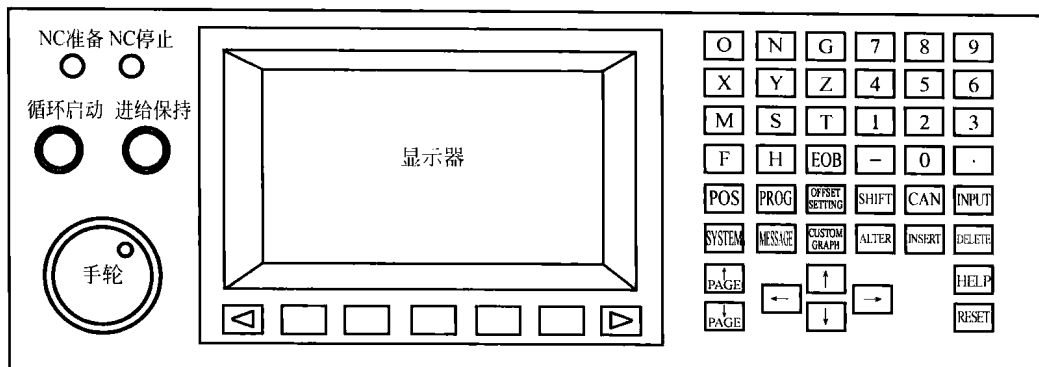




图 10.14 CNC 系统操作面板

这时只要再按一下循环启动按钮,程序继续执行。在急停或复位情况下,程序复位,指示灯灭。

(2) 其他各类控制键的功能如表 10.5 所示。

表 10.5 各类控制键操作说明

名 称	说 明
RESET(复位键)	可使 CNC 系统复位,以消除报警
HELP(帮助键)	用来显示如何操作机床,如 MDI 键的操作。可在 CNC 发生报警时提供报警的详细信息
地址和数字键   ...	用以输入字母、数字以及其他字符
程序编辑键 ALTER INSERT DELETE	ALTER 替换当前字符; INSERT 插入字符; DELETE 删除整段程序
CAN(取消键)	删除已输入到键的输入缓冲器中的最后一个字符或符号。如,当显示输入缓冲器数据为>N001X100Z-时,按下 CAN 键,则字符 Z 被取消,并显示: >N001X100
INPUT(输入键)	把数据输入到寄存器中
功能键 POS PROG	POS 地址功能键,显示当前机床(刀具)的位置 PROG 显示程序画面
OFFSET OFFSETTING	显示刀偏/设定画面
SYSTEM	显示系统画面
MESSAGE	显示信息画面
GRAPH	显示图形画面,模拟演示刀具运行轨迹
CUSTOM	按此键显示用户宏画面(会话式宏画面)

2. 机械操作面板

机械操作面板各功能键与旋钮的功能如表 10.6 所示。

表 10.6 各功能键与旋钮的功能

名 称	功 能
MDI	手动数据输入方式
编辑	编辑工件加工程序文件
自动	程序自动运行方式
手动	手动进行 X、Z 向的连续移动,可以快移
回零	机床回零方式
X 手摇、Z 手摇	用手轮来控制 X 向、Z 向移动
机床锁住	执行加工程序时,机床不移动但显示器上的各轴位置在变化
单段	程序每执行完一段程序就暂停,按一下循环启动开关,程序又执行下一段
空运行	该功能用于当工件从工作台上卸下时检查机床的运动。当快速移动开关有效时,机床以最大进给倍率对应的进给速度运行。当快速移动开关无效时,机床以切削速度运行
跳步	当程序执行到前面有“/”的程序时,程序就跳过这一段
转塔	手动换刀开关。只在手动方式下才有效。在手动方式下,一直按着转塔开关,刀架电机就一直朝着正方向旋转;当放开开关时,刀架就在当前位置停止并反向锁定,这时换刀结束
25%、50%、100%(进给倍率)	加工中刀具的进给是按程序中指定的进给量乘以相应的进给倍率运行
X1、X10、X100(手轮倍率)	在手摇方式下,通过选择手轮方式下的手轮倍率来控制机床移动的快慢;在增量进给方式下,通过此三个挡位开关来控制机床在“+X”、“-X”、“+Z”、“-Z”方向的进给当量
STOP(急停开关)	机床遇到紧急情况时,按下 STOP,机床紧急停止,主轴也马上紧急刹车
KEY(写保护开关)	开关打开,用户加工程序可以进行编辑,参数可以修改;开关关闭,程序和参数得到保护,不能修改

注：在增量进给方式下 X1、X10、X100 对应的进给当量为 X1：0.001 mm；X10：0.01 mm；X100：0.1 mm。

10.3 数控铣削加工

10.3.1 数控铣床简介

1. 铣床结构简介

数控铣床应用范围广泛,一般数控铣床多为三坐标、两轴联动的机床,也称两轴半控制。数控铣床具有连续控制功能,能加工复杂的二维曲面和较复杂的三维空间曲面;除铣削平面、斜面、键槽和各种型腔外,还可以完成钻孔、扩孔、镗孔和攻螺纹等工序的加工。

图 10.15 为立式数控铣床的布局图,它主要是由数控系统、伺服系统和机床主体三个基

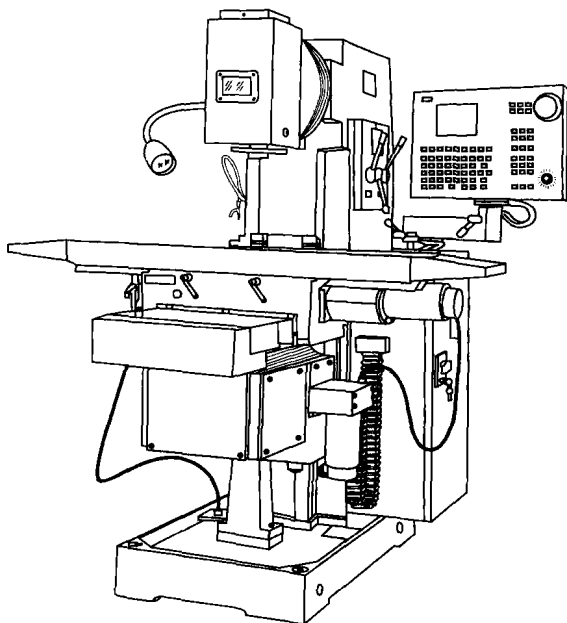


图 10.15 立式数控铣床布局图

本部分组成。

2. 数控铣床的分类方法

(1) 按照机床主轴的空间布置可分为立式和卧式两种。卧式铣床刚性较好,但加工范围受到限制。而立式铣床工件布置更适合人的视觉习惯,在未配制第四轴的前提下可以方便地加工五个立面。所以,其加工范围较卧式铣床要广。

(2) 按机床控制的坐标轴数分为普通数控铣床或多轴数控铣床。大部分数控铣床都具有三轴或三轴以上的联动功能。因此,具有空间曲面的零件可以在数控铣床上加工。如果使数控铣床的工作台和主轴箱实现转动进给,就构成了五轴数控铣床,如图 10.16 所示。它可以加工更为复杂的空间曲面,如图 10.17 所示的叶轮。

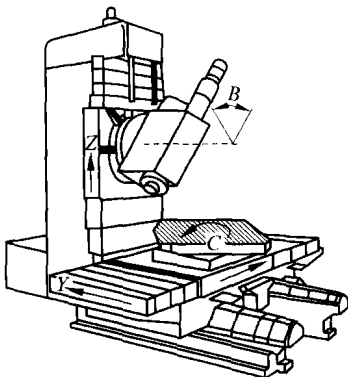


图 10.16 五轴数控铣床

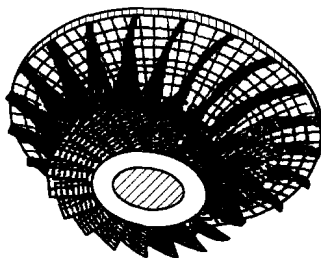


图 10.17 叶轮

10.3.2 数控铣削加工工艺基础

1. 数控铣削的主要加工对象

数控铣削是机械加工中最常用和最主要的数控加工方法之一,它除了能铣削普通铣床所能铣削的各种零件表面以外,还能铣削普通铣床所不能铣削的各种平面轮廓和立体轮廓。根据数控铣床的特点,从铣削加工的角度来考虑,适合数控铣削的主要加工对象有三类。

1) 平面类零件

加工面平行或垂直于水平面,或加工面与水平面的夹角为定角的零件为平面类零件,如图 10.18 所示。其特点是各加工单元面为平面或可以展开为平面。

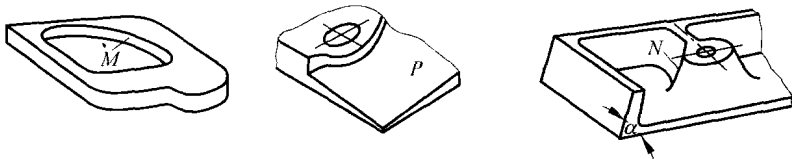


图 10.18 平面类零件

平面类零件是数控铣床加工中最简单的常用零件。对于一般平面类零件,只需用三坐标数控铣床的两坐标联动就可以将它们直接加工出来。

2) 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角是连续变化的零件称为变斜角零件。如图 10.19 中的飞机上变斜角梁的缘条在第 2 肋至第 5 肋的斜角 α 从 $3^{\circ}10'$ 均匀变化为 $2^{\circ}32'$,从第 5 肋至第 9 肋再均匀变化为 $1^{\circ}20'$,从第 9 肋至第 12 肋又均匀变化为 0° 。

变斜角类零件的特点是变斜角加工面不能展开为平面。在加工过程中,加工面与铣刀圆周的接触瞬间为一直线。

3) 曲面类零件

加工面为空间曲面的零件为曲面类零件。其特点是加工面不能展开成平面,且加工过程中的加工面与铣刀始终为点接触。如图 10.20 所示的涡轮叶片。

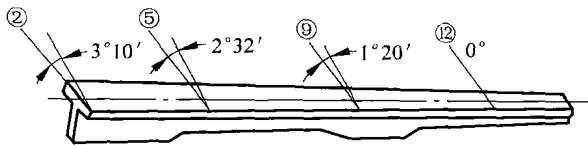


图 10.19 变斜角类零件

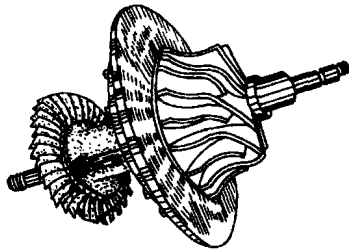


图 10.20 特殊涡轮叶片上的曲面叶轮

2. 加工路线的确定

在数控加工中,刀具(刀位点)相对于工件的运动轨迹和方向称为加工路线。即刀具从对刀点开始运动起,直至加工结束所经过的路径,包括切削加工的路径及刀具引入、返回等非切削空行程。加工路线的确定首先必须保证被加工零件的尺寸精度和表面质量,其次考虑数值计算简单,走刀路线尽量短,效率较高等。

3. 数控铣刀及其选用

数控铣床可以进行铣、镗、钻、扩、铰等多工序加工,所涉及的刀具种类较多。数控铣削常用铣刀有以下几种。

(1) 盘铣刀 又称为端面铣刀,铣刀的圆周表面和断面上都有切削刃,端部切削刃为副切削刃,如图 10.21 所示,常用于端铣较大的平面。

(2) 立铣刀 数控铣削加工中最常用的一种铣刀,广泛用于加工平面类零件。立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃,它们可同时进行切削,也可单独进行切削。但是由于普通立铣刀端面中心处无切削刃,所以立铣刀不能做轴向进给,端面刃主要用来加工与侧面相垂直的底平面。如图 10.22 所示。

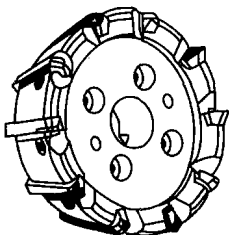


图 10.21 面铣刀

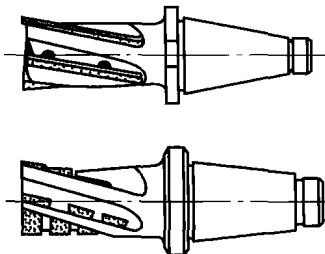


图 10.22 硬质合金立铣刀

(3) 成形铣刀 一般都是为特定的工件或加工内容专门设计制造的,适用于加工平面类零件的特定形状(如角度面、凹槽面等),也适用于特形孔或凸台,如图 10.23 所示。

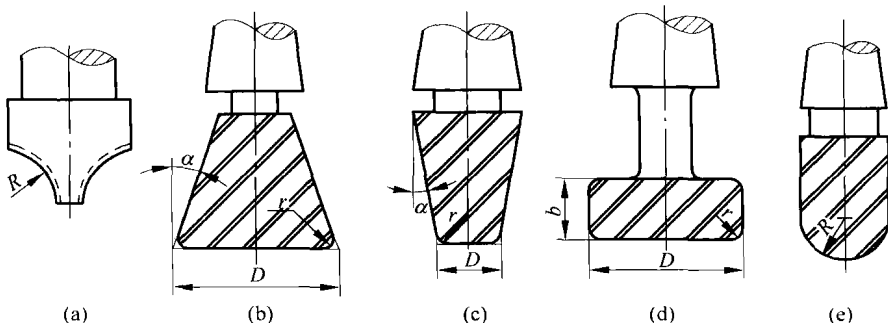


图 10.23 成形铣刀

(4) 键槽铣刀 有两个刀齿,圆柱面和端面都有切削刃,端面刃延至中心,既像立铣刀,又像钻头。加工时先轴向进给达到槽深,然后沿键槽方向铣出键槽全长。如图 10.24 所示。

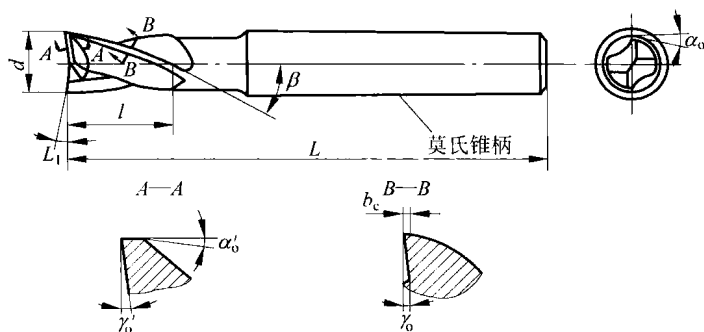


图 10.24 键槽铣刀

(5) 球头铣刀 如图 10.25 所示,适用于加工空间曲面零件,有时也用于加工平面类零件上有较大转接凹圆弧的过渡加工。球头铣刀与铣削特定曲率半径的成形曲面铣刀相比较,虽然加工对象都是曲面类零件,但两者仍有较大差别。主要差别在于球头铣刀的球半径通常小于加工曲面的曲率半径,而成形曲面铣刀的曲率半径则与加工曲面的曲率半径相等。

(6) 鼓形铣刀 如图 10.26 所示,主要用于对变斜角类零件的变斜角面的近似加工。

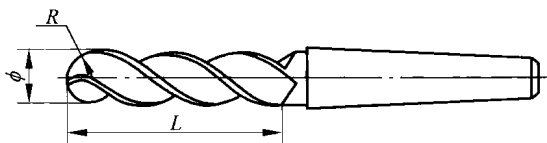


图 10.25 球面铣刀

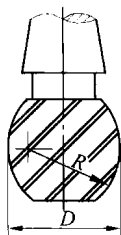


图 10.26 鼓形铣刀

10.3.3 数控铣削手工编程

1. 数控铣床编程基础

1) 数控铣床坐标系的确定

数控铣床的坐标系采用右手笛卡儿坐标系。

图 10.27 描述了三坐标数控铣床的坐标轴及其运动方向。 Z 轴定义为平行于机床主轴的坐标轴,其正方向为刀具远离工作台的运动方向; X 轴为平行于工件装夹平面的坐标轴,并以主要的切削方向为 X 轴正向; Y 轴的正方向则根据 X 轴和 Z 轴按右手法则确定。

2) 刀具半径补偿

在数控铣床上进行轮廓的铣削加工时,由于刀具半径的存在,刀具中心(刀心)轨迹和工件轮廓不重合,这就需要编程时对刀具进行半径补偿。现在的数控系统大多具备刀具半径补偿功

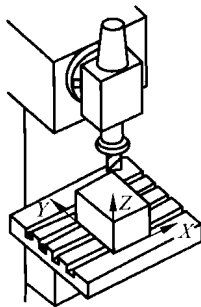


图 10.27 立式铣床坐标系

能,数控编程时假设刀具的半径为零,编程人员只需按工件轮廓进行编程,这种编程方法也叫对零件的编程。而实际的刀具半径则存放在一个可编程刀具半径偏置寄存器中。在加工过程中,数控系统会自动计算刀心轨迹,使刀具偏离工件轮廓一个半径值,即进行刀具半径补偿,完成对零件的加工。当刀具半径发生变化时,不需修改零件程序,只需修改存放在刀具半径偏置寄存器中的刀具半径值即可。

铣削加工刀具半径补偿分为刀具半径左补偿(G41)和刀具半径右补偿(G42),如图 10.28 所示。根据 ISO 标准,当刀具中心轨迹前进方向位于零件轮廓右边时称为刀具右补偿;反之称为刀具半径左补偿。当不需要刀具半径补偿时,则用 G40 取消刀具半径补偿。指令格式:

```
G41 — G01 X_Y_D * * ;
G42 — G01 X_Y_D * * ;
G40 — G00 X_Y_D * * ;
```

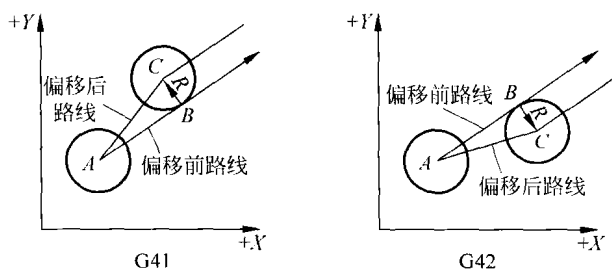


图 10.28 刀具半径补偿

注意: ① 建立和取消刀具半径补偿时必须与 G01 或 G00 指令组合来完成,一般建议与 G01 组合; ② 刀具半径补偿指令是模态指令; ③ D 及后面的数字表示刀具半径补偿号。

3) 刀具长度补偿

为了简化零件的数控加工编程,使数控程序与刀具形状和刀具尺寸尽量无关,现代 CNC 数控系统除了具有刀具半径补偿功能外,还具有刀具长度补偿功能。刀具长度补偿使刀具在垂直于走刀平面的方向上偏移一个刀具长度修正值。因此,在数控编程过程中,一般无需考虑刀具长度。这样,避免了加工运行中的经常换刀。

一般而言,刀具长度补偿对于二坐标和三坐标联动数控加工是有效的;对于刀具摆动的四、五坐标联动数控机床,刀具长度补偿则无效。刀具长度补偿指令由 G43 和 G44 实现: G43 为刀具长度正补偿或离开工件补偿; G44 为刀具长度负补偿或趋向工件补偿。取消补偿用 G49。刀具长度补偿指令格式:

```
G43 } Z_H_
G44 }
```

H 为刀具长度补偿值的寄存器地址,后面两位数表示补偿量代号,补偿量可以用 MDI 方式存入该代号寄存器中,如图 10.29 所示。

执行程序段 G43 时, Z 的实际值 = Z 指令值 + H; 执行 G44 时, Z 的实际值 = Z 指令值 - H。其中, H 可以是正值,也可以是负值。

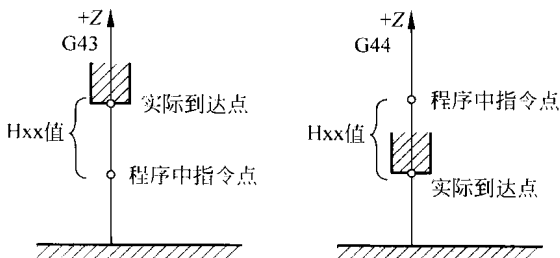


图 10.29 刀具长度补偿

2. 数控铣床常用指令及编程方法

我们主要以 FANUC OiMate 数控系统为例来讲解数控编程知识。

1) 数控铣床常用准备功能(G 代码)指令

G 代码分为下面两类:

非模态 G 代码 该代码只在指令它的程序段中有效;

模态 G 代码 在指令同组其他 G 代码前该 G 代码一直有效。

常用 G 代码指令如表 10.7 所示。

表 10.7 数控铣床常用准备功能

代码	功 能	附注	代码	功 能	附注
G00	快速定位	模态	G55	第一工件坐标系	模态
G01	直线插补	模态	G56	第二工件坐标系	模态
G02	圆弧插补(顺圆)	模态	G57	第三工件坐标系	模态
G03	圆弧插补(逆圆)	模态	G58	第四工件坐标系	模态
G04	停刀,准确停止		G59	第五工件坐标系	模态
G17	XY 平面选择	模态	G80	钻孔固定循环取消	模态
G18	ZX 平面选择	模态	G81	钻孔循环	模态
G19	YZ 平面选择	模态	G82	钻孔循环	模态
G27	参考点返回检查		G83	深孔钻循环	模态
G28	返回到参考点		G84	攻螺纹循环	模态
G29	由参考点返回		G85	镗孔循环	模态
G40	取消刀尖半径补偿	模态	G90	绝对坐标编程	模态
G41	刀具半径左补偿	模态	G91	相对坐标编程	模态
G42	刀具半径右补偿	模态	G92	工件坐标系设定	模态
G43	刀具长度正补偿	模态	G98	循环返回起始点	模态
G44	刀具长度负补偿	模态	G99	循环返回参考平面	模态

(1) 快速移动指令 G00

G00 用于快速定位刀具,不对工件进行加工。

编程格式是:

G00 X_Y_Z_;

其中: X、Y、Z 为刀具移动的目标点坐标。

(2) 直线插补指令 G01

直线插补指令是直线运动指令,命令刀具在两个坐标间以插补联动方式按指定的进给速度作任意斜率的直线运动。其编程格式是:

G01 X_Y_Z_F_;

其中: X、Y、Z 为刀具移动的目标点坐标;F 为进给速度,单位为 mm/min 或 mm/r。

(3) 圆弧插补指令 G02/G03

圆弧插补指令命令刀具在指定平面内按给定的进给速度 F 作圆弧运动,切出圆弧轮廓。其指令格式有两种:

G17 $\left\{ \begin{array}{l} \text{G02} \\ \text{G03} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{X}_Y\text{I}_J\text{J}_-; \\ \text{X}_Y\text{R}_-; \end{array} \right\}$

G18 $\left\{ \begin{array}{l} \text{G02} \\ \text{G03} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{X}_Z\text{I}_K\text{K}_-; \\ \text{X}_Z\text{R}_-; \end{array} \right\}$

G19 $\left\{ \begin{array}{l} \text{G02} \\ \text{G03} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{X}_Z\text{J}_K\text{K}_-; \\ \text{X}_Z\text{R}_-; \end{array} \right\}$

其中: X、Y、Z 为目标点坐标;R 为圆弧半径;I、J、K 为圆心在 X、Y、Z 轴上相对于圆弧起点的坐标。

如图 10.30 所示半径等于 50 的球面,其球心位于坐标原点 O,刀心轨迹 A→B、B→C、C→A 的圆弧插补程序分别为

A→B: G17 G90 G03 X0 Y50 I-50 J0;

B→C: G19 G91 G03 Y-50 Z50 J-50 K0;

C→A: G18 G90 G03 X50 Z0 I0 K-50;

绝对坐标编程

增量坐标编程

绝对坐标编程

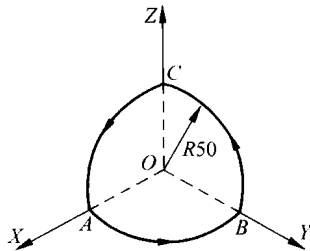


图 10.30 圆弧插补指令的应用

(4) 暂停指令 G04

编程指令:

G04 X_ ;或 G04 P_ ;

其中: X 为指定时间,可用十进制小数点,单位为 s 或 rev;P 为指定时间,不可用十进制小数点,单位为 s 或 rev。

(5) 自动返回参考点 G27/G28/G29

G27 为返回参考点校验功能,用于检查机床能否准确返回参考点。

指令格式:

G27 X_Y_;

当执行 G27 指令后,返回各轴参考点指示灯分别点亮。当使用刀具补偿功能时,指示灯不亮,所以在取消刀具补偿功能后,才能使用 G27 指令。

G28 为自动返回参考点

指令格式:

G28 X_Y_ ;或 G28 Z_X_ ;或 G28 Y_Z_ ;

其中: X、Y、Z 为中间点的坐标,指令执行时所有受控轴都将快速定位到中间点,然后再从中间点到参考点。G28 指令一般用于自动换刀。使用 G28 时应取消刀补。

G29 为从参考点自动返回

指令格式:

G29 X_Y_;或 G29 Z_X_;或 G29 Y_Z_;

其中: X、Y、Z 为执行完 G29 后刀具应到达的坐标点。

(6) 钻孔循环 G81

执行 G81 时主轴正转,刀具以进给速度向下运动钻孔,到达孔底后,快速退回(无孔底动作)。

指令格式:

G81 X_Y_Z_R_F_;

其中: X、Y 为孔的位置;Z 为孔底位置;R 为参考平面位置;F 为进给速度,单位为 mm/min。

(7) 钻孔循环 G82

G82 与 G81 相比,唯一不同的是执行 G82 时,刀具到达孔底后有暂停动作,即当钻头加工到孔底位置时,刀具不作进给运动,而保持旋转状态,使孔的表面更光滑。

指令格式:

G82 X_Y_Z_R_P_F_;

其中: P 为在孔底位置的暂停时间,单位为 ms;其余含义同上。

(8) 深孔钻循环指令 G83

G83 指令与 G81(G82)的区别是由于 G83 是深孔加工,采用间歇进给,有利于排屑。每次进给深度 Q,直到孔底位置,在孔底做暂停动作。

指令格式:

G83 X_Y_Z_R_P_Q_F_;

其中: Q 为每次进给深度;其余含义同上。

(9) 攻螺纹循环指令 G84

G84 指令用于攻螺纹循环,其指令格式与 G81(G82)完全相同,F 值根据主轴转速与螺纹螺距来计算。在攻螺纹期间进给倍率无效且不能停机,即使按下进给保持按钮,加工也不停止,直到完成该固定循环。

指令格式:

G84 X_Y_Z_R_P_F_;

其中坐标字含义如上。

(10) 镗孔循环 G85

G85 用于镗孔加工循环,刀具以进给速度向下运动镗孔,到达孔底后,立即以进给速度退出(没有孔底动作)。

指令格式:

G85 X_Y_Z_F_R_;

其中坐标字含义如上。

2) 数控铣床常用的辅助功能

辅助功能也叫 M 功能或 M 代码,它是控制机床或系统开关功能的一种命令。常用的辅助功能编程代码见表 10.8。

表 10.8 常用的辅助功能 M 代码及其功能与用途

序号	代码	功 能	用 途
1	M00	程序停止	实际上是一个暂停指令。当执行有 M00 指令的程序段后,主轴的转动、进给、切削液都将停止。它与单程序段停止相同,模态信息全部被保留,以便进行某一手动操作,如换刀、测量工件的尺寸等。重新启动机床后,继续执行下面的程序
2	M01	选择性停止	
3	M02	程序结束	该指令编在程序的最后一条,表示执行完程序内所有指令后,主轴停止、进给停止、切削液关闭,机床处于复位状态
4	M03	主轴正转	
5	M04	主轴反转	
6	M06	换刀	用于自动换刀动作
7	M05	主轴停止转动	
8	M08	冷却液开	
9	M09	冷却液关	
10	M30	程序结束	使用 M30 时,除表示执行 M02 的内容之外,还返回到程序的第一条语句,准备下一个工件的加工
11	M98	子程序调用	
12	M99	子程序返回	

注：各种机床的 M 代码规定有差异,编程时必须根据说明书的规定进行。

10.3.4 数控铣床操作面板的功能与使用

1. 机械操作面板

机械操作面板各功能键与旋钮的功能如表 10.9 所示。

表 10.9 各功能键与旋钮的功能

按 钮 名 称	功 能
CRT 显示器	显示机床的各种参数和功能,如机床参考点坐标、刀具起始点坐标、输入数控系统的指令数据、刀具补偿量的数值、报警信号、自诊断结果、工作台快速移动等
数控系统启动按钮(ON)	启动数控系统,CRT 显示器上有显示
数控系统停止按钮(OFF)	按下后,数控系统停止,CRT 显示器上无显示

续表

按钮名称	功能
程序保护锁(Project)	左边位置时,处于写保护状态,此时,程序、数据不允许写入、修改和编辑;当处于右边位置时,可写入、修改、编辑数据
机床锁住开关(Drive)	主要用来保护机床和校验程序的正确性,当使用次功能时,刀具不再移动,但显示器上能够显示每一轴运行的位移变化,同时 GRAPH 图形功能也有效
辅助功能锁住	在自动运行方式下,按下此按钮,M、S、T 代码被禁止输出,当需要继续进给时,按下循环启动按钮,则继续执行程序
单步按钮(SKB)	执行单段程序
空运行按钮(DRN)	在自动运行期间,按下机床操作面板上的空运行开关,在不安装刀具和工件的情况下运行程序,可以用来检查程序的正确性
在线传输按钮(DNC)	程序自动运行方式,可以经阅读机/穿孔机接口读入外设上的程序进行加工;也可以选择在外输入输出设备中存储的文件并指定自动运行的顺序及重复次数
刀具安装按钮(TOOL)	按下 TOOL 按钮,安装刀具;再次按下按钮,拆卸刀具
轴与轴方向选择开关(X+、X-、Y+、Y-、Z+、Z-、A+、A-)	在机床手动和增量进给方式下按下该键,可实现手动沿各轴方向移动,移动速度为机床参数设置的手动进给速度
进给倍率选择开关	该按钮选择范围为 0~120%,机床运行时的进给速度将以编程指定的进给速度乘以相应的进给倍率。该功能在加工螺纹时被忽略
主轴倍率选择按钮	该按钮选择范围为 50%~120%,机床运行时的主轴转速将以编程指定的转速乘以相应的主轴倍率转动
方式选择按钮(MODE SELECT)	用于选择机床的某种工作方式,机床当前的工作状态将显示在 CRT 屏幕的状态区。该旋钮沿圆周方向共有 7 个位置,代表机床的 7 种工作方式

机床 7 种工作方式如下所述。

(1) 编辑方式: 屏幕状态显示为 EDIT, 在此状态下可完成程序的输入、存储、修改和删除等操作。

(2) 手动输入方式(MDI): 在此方式下, 可进行手动数据的输入。

(3) 手动进给方式: 屏幕状态区显示为 JOG, 此时按动轴与轴方向选择开关实现各轴的连续手动进给和刀具快速定位。

(4) 增量方式: 在增量进给方式(INC)中, 有 5 种倍率(X1、X10、X100、X1000、X10000)可选择。刀具移动的每一步是输入最小增量的 1、10、100、1000、10000 倍。

(5) 手摇脉冲发生器的使用方式: 屏幕状态显示为 HNDL, 使用手轮进给轴选择开关选择要移动的轴, 旋转手轮即可移动该轴。

(6) 自动方式: 用编程程序运行 CNC 机床。

(7) 手动返回参考点: 屏幕显示为 REF, 在此方式下按下轴和方向选择开关, 刀具自动返回到参考点。这时, 系统自动设定坐标系。

2. CNC 系统操作面板

图 10.31 为数控铣床 CNC 系统操作面板(即 CRT/MDI 面板), 其主要由一个显示屏

(CRT)和各类控制按键组成。在 CRT 显示屏幕下有一排软键,其作用是进入主功能状态(POS、PROG、MENU、OFFSET、ALTER 等)后,再选择下级子功能(软键)进行具体操作。软键的功能随主功能键的不同而不同。面板右侧是 MDI 面板,如图 10.32 所示,其中各类控制键的功能如表 10.10 所示。

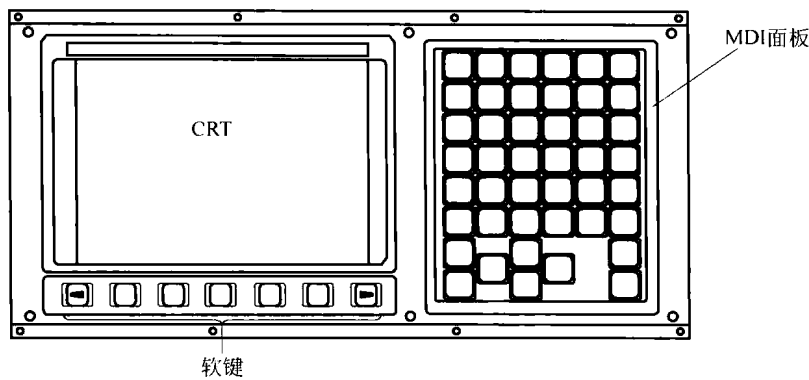


图 10.31 CNC 数控铣床 CRT/MDI 操作面板

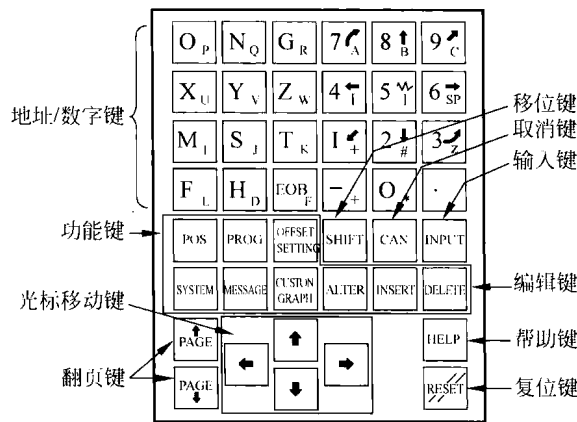




图 10.32 CNC 数控铣床 MDI 操作面板

表 10.10 其他各类控制键的功能

名 称	说 明
RESET(复位键)	可使 CNC 系统复位,以消除报警
HELP(帮助键)	用来显示如何操作机床,如 MDI 键的操作。可在 CNC 发生报警时提供报警的详细信息
地址和数字键   ...	用以输入字母、数字以及其他字符
程序编辑键 ALTER INSERT DELETE	ALTER 替换当前字符; INSERT 插入字符; DELETE 删除整段程序

续表

名 称	说 明
CAN(取消键)	删除已输入到键的输入缓冲器中的最后一个字符或符号。 如,当显示输入缓冲器数据为“>N001X100Z ”时,按下 CAN 键,则字符 Z 被取消,并显示:>N001X100
INPUT(输入键)	把数据输入到寄存器中
换挡键(SHIFT)	在某些键的两个功能之间进行切换
功能键 POS PROG	POS 地址功能键,显示当前机床(刀具)的绝对坐标、相对坐标、机械坐标等多种位置数据和信息 PROG 显示程序画面
OFFSET OFFSETTING	显示刀偏偏置/设定画面
SYSTEM	显示系统参数设置画面
MESSAGE	显示信息画面,在此功能下可实现报警信息的显示,以便维修和排除故障
CUSTOM/GRAPH	显示用户/图形画面,模拟演示刀具运行轨迹,用于加工前的程序检查和校验
软键	根据不同的画面,软键功能不同,可查看实际机床操作面板

10.4 加工中心

加工中心是一种集铣(车)、钻、镗、扩、铰、攻螺纹等多种加工功能于一体的数控加工机床,其工序高度集中,从而可以实现多种工艺手段。

加工中心机床能够在一台机床上完成由多台机床才能完成的工作,而且加工中心带有不同形式的刀库和自动换刀装置,能自动更换刀具,加工时可在刀库中存放各种不同数量的刀具或检具,以便在加工过程中按工艺要求进行自动选用和更换,对工件进行多工序加工,这是加工中心与普通数控机床的主要区别。加工中心与其他数控机床相比,虽然结构较复杂,但控制功能较多,并且还具有多种辅助功能。这些特点对提高机床的加工效率和产品的加工精度,确保产品的质量都具有十分重要的作用。

加工中心一般包括以下内容。

第一,加工中心是在数控镗床或数控铣床的基础上增加自动换刀装置,使工件在一次装夹后,可以连续对工件表面进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻螺纹、铣削等多工步的加工,工序高度集中。

第二,加工中心一般带有自动分度回转工作台或主轴箱可自动转角功能,从而使工件一次装夹后,自动完成多个平面或多个角度位置的多工序加工。

第三,加工中心能自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助机能。

第四,带交换工作台的加工中心,在工作位置的工作台上进行工件加工的同时,可在装卸工件位置的工作台上进行装卸,不影响正常的加工工作。

10.4.1 加工中心的分类

加工中心按其主轴在空间所处的状态可分为立式(见图 10.33)、卧式(见图 10.34)及复合加工中心等几种;按坐标轴数可分为三轴二联动、三轴三联动、四轴三联动、五轴四联动及六轴五联动等;按工作台的数量可分为单工作台、双工作台和多工作台加工中心;按加工精度还可分为普通加工中心和高精度加工中心等。

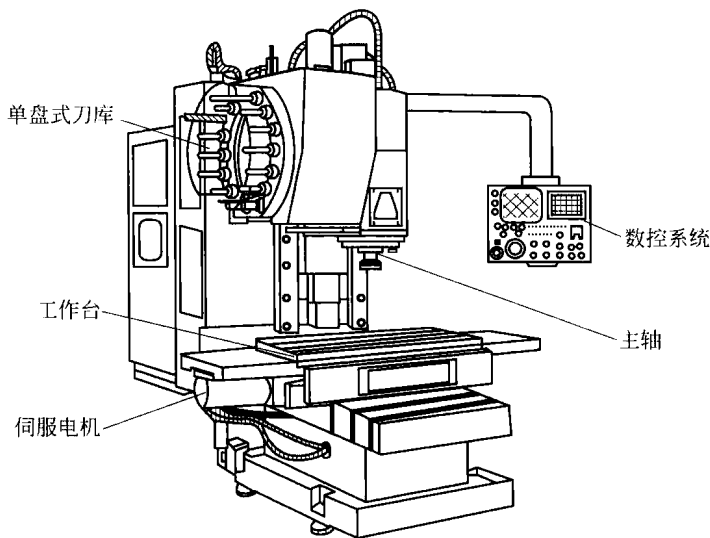


图 10.33 立式加工中心

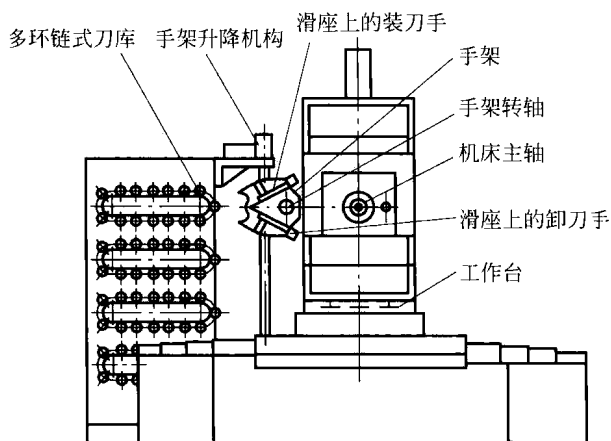


图 10.34 卧式加工中心

10.4.2 加工中心的主要加工对象

加工中心最适宜加工切削条件多变、形状结构复杂、精度要求高及加工一致性好的零

件,如箱体类零件;适合加工需采取多轴联动才能加工出的特别复杂的曲面零件;适合加工需要利用点、线、面多工位混合加工的异形件;以及带有键槽或径向孔、端面有分布孔系或曲面的盘(套)类及板类等零件。

10.4.3 刀库与刀具交换装置

加工中心机床与普通数控机床的基本结构和组成相同,一般也是由机床本体、数控装置和伺服机构这三大部分组成。但是由于加工中心是一种加工工序高度集中的机床,能够进行刀具管理和自动换刀,所以除了上述三部分基本组成之外,它还具有刀库和自动换刀装置,这是它与普通数控机床在结构上最主要的区别。

1) 刀库

刀库就是以合理方式储存较多刀具和辅具的随机(机床)库房,它的工作过程受机床数控系统的控制。

刀库的形式很多,主要分为单刀库、双刀库及可更换刀库(包括后备刀库)三大类,其中,单刀库应用最普遍。单刀库中又分为结构简单、取刀方便的单盘式(又称单鼓轮式)刀库及分离或重叠盘式刀库,以及结构紧凑、容量较大且常置于机床立柱顶部(空间利用率较高)的鼓轮弹夹式刀库和结构灵活,选刀、取刀动作都十分简单,但轴向取刀的位置精度稍差的单环、多环链式刀库。其他还有结构虽然较简单、紧凑,但选刀、取刀动作却较复杂的多层转盘式刀库和格子(单面或多面)箱式刀库等。

2) 刀具交换装置

在数控机床的自动换刀系统中,实现刀库与机床主轴之间传递和装卸刀具、辅具的装置称为刀具交换装置。

在多种刀具交换装置中,除少数超级数控机床(如FMS)采用工业机器人外,应用得最广泛的是机械手装置。因为采用机械手装置进行刀具交换具有很大的灵活性,并且可以减少换刀时间,结构也比较简单。

在各种类型的机械手装置中,双臂机械手则集中体现了上述优点。双臂机械手最常用的结构有钩手、抱手、叉手及伸缩手等几种。它们能通过圆柱槽凸轮、杠杆及凸轮联动等机构,快速、准确地完成抓刀、拔刀、回转(如 180° 或其他夹角)、插刀及返回等全部动作。为了防止刀具在交换过程中滑落,各种机械手上的活动爪一般都具有自锁能力。

3) 自动换刀的过程

由刀库和刀具交换装置组成的自动换刀系统在接受数控装置发出的换刀指令后,还需通过系统中的一些特殊机构进行一系列较复杂、准确的动作。

其换刀过程如下:机床工作前,必须首先把工件加工过程中所需要使用和备用的全部刀具分别安装在标准刀柄上,并在机外对刀(预调)仪上进行尺寸预调(其预调结果将按规定依次对应输入到数控装置中),然后按所排定的存放位置,对号入座放入刀库,结束准备工作。换刀时,先通过数控装置在刀库中进行选刀,确认后由刀具交换装置依次分别从刀库中和机床主轴上取出需要新安装的和使用后需要卸下的刀具进行交换,即将新的刀具装入主轴,把使用后的刀具放回到原规定其存放位置的刀库中,结束其换刀工作。

10.4.4 加工编程实例

【例 10.4】 加工如图 10.35 所示的零件。

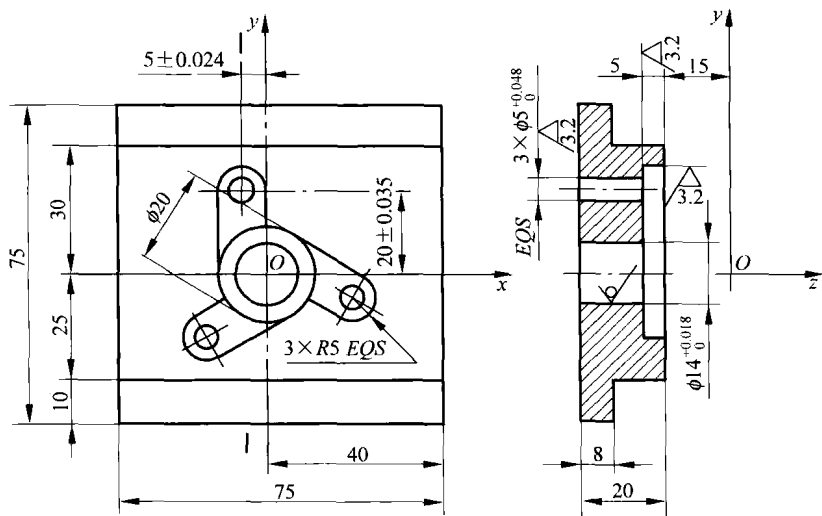


图 10.35 加工零件图

(1) 加工设备：对该实例零件加工可选用各种立式加工中心。

(2) 加工工艺：该零件的坯件上已由普通机床预加工出 55 mm×75 mm 的台阶面和 $\phi 14^{+0.018}_0$ mm 的中孔,以中孔定位并校正四方外形的位置后,压紧即可。

(3) 加工刀具：T01 为 $\phi 10$ mm 立铣刀；T02 为 A1.6 型或 A2 型中心钻；T03 为 $\phi 5$ mm 麻花钻。

(4) 加工程序：

```
O0001;
N1 G92 X0 Y0 Z0;
N2 G90 G00 Z150 T01 M06;
N3 G43 H01 Z-20 M03 S600;

N4 G01 X-5 F50 M08;
N5 Y20 T02;
N6 Y0;
N7 G03 X2.5 Y-4.33 I5 J0;
N8 G01 X-14.821 Y-14.33;
N9 X2.5 Y-4.33;
N10 G03 X2.5 Y4.33 I-2.5 J4.33;
N11 G01 X19.821 Y-5.67;
N12 X2.5 Y4.33;
N13 G03 X-5 Y0 I-2.5 J-4.33 M09;
N14 G40 G00 X0 Z150 M06;
```

加工程序名
设定工件坐标系
用绝对坐标,主轴快速到达换刀点位置,换 01 号刀具
建立 01 号刀具的长度正补偿,刀具到达进给初始位置,主轴以 600 r/min 启动正转
刀具以 50 mm/min 进给至铣直槽起点,切削液开
铣第二象限直槽和 R5 mm 圆弧,选 02 号刀具
直线退回上一工步起点
铣第三象限 $\phi 20$ mm 逆圆弧
铣第三象限直槽和 R5 mm 圆弧
直线退回上一工步起点
铣第四象限 $\phi 20$ mm 逆圆弧
铣第三条直槽和 R5 mm 圆弧
直线退回上一工步起点
铣第一象限 $\phi 20$ mm 逆圆弧,切削液关
取消 01 号刀具的刀补,快速到达换刀点位置,换 02 号刀具

N15 G43 H02 S1200 M03;
 N16 G81 X-5 Y20 Z-23 R-19 F30;
 N17 X-14.821 Y-14.33 T03;
 N18 X19.821 Y-5.67;
 N19 G40 G00 X0 Z150 M06;
 N20 G43 H03 M03 S800;
 N21 G86 X-5 Y20 Z-37 R-19 F40 M08;

 N22 X-14.821 Y-14.33 T01;
 N23 X19.821 Y-5.67 M09;
 N24 G40 G00 X0 Y0 Z150 M05;
 N25 M30;

建立 02 号刀具的长度正补偿,主轴以 1200 r/min 启动正转
 用固定循环并以 30 mm/min 进给速度钻第二象限中心孔
 用固定循环钻第三象限中心孔,选 03 号刀具
 用固定循环钻第四象限中心孔
 取消 02 号刀具的刀补,快速到达换刀点位置,换 03 号刀具
 建立 03 号刀具的长度正补偿,主轴以 800 r/min 启动正转
 用固定循环并以 40 mm/min 进给速度钻第四象限 $\phi 5$ mm 孔,
 切削液开
 用固定循环钻第三象限 $\phi 5$ mm 孔,选 01 号刀具
 用固定循环钻第四象限 $\phi 5$ mm 孔,切削液关
 取消 03 号刀补,快速到达下一轮换刀点位置,主轴停止
 程序结束

(5) 编程说明:

- ① 在该加工程序中,第 N16 至 N18 程序段为钻中心孔加工,不必使用切削液,故未填写其 M08/M09 指令;
- ② G81 和 G86 为固定循环加工指令,应注意其程序段格式、循环执行过程等;
- ③ 对具有坐标轴旋转功能的数控系统,采用其坐标轴旋转指令,确定旋转中心(坐标)、旋转角度及旋转次数后,可简化加工程序的计算和编写工作,提高编程效率。如部分 FANUC 系统规定 G68/G69 为坐标轴旋转/注销旋转的指令。

复习思考题

1. 数控机床有哪几部分组成? 各有什么作用?
2. 将数控加工程序输入机床的方法有几种? 各是什么?
3. 何为模态指令和非模态指令? 它们在使用时有什么不同?
4. 按照刀具运动轨迹分,数控机床分为哪几类?
5. 在结构上,数控车床和普通车床相比有哪些不同?
6. 数控铣床的加工对象都有哪些?
7. 数控铣床有几种刀具补偿?
8. 数控铣床坐标系是如何确定的?
9. 试编制完成如图 10.36 所示凸台轮廓的加工程序。
10. 数控机床的工作流程是什么?
11. 加工中心是怎样的一种机床,它与其他数控机床相比有何特点?
12. 在加工中心上,刀具是怎样进行自动交换的?
13. 加工中心的编程与其他数控机床的编程有何主要区别? 其选刀和换刀程序段是怎样安排的?

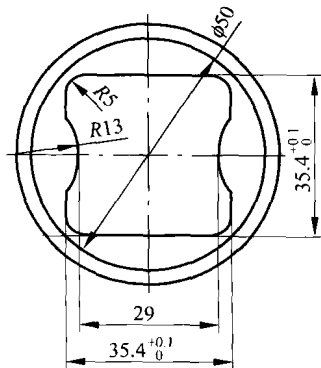
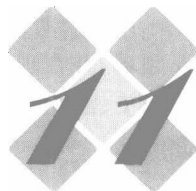


图 10.36 凸台轮廓加工

特种加工



11.1 概 述

1. 特种加工的产生和发展

随着科技与生产的发展,一些高强度、高硬度的新材料不断出现(如钛合金、硬质合金等难加工材料,陶瓷、人造金刚石、硅片等非金属材料),以及特殊、复杂结构的型面加工(如薄壁、小孔、窄缝等),都对机械加工提出了挑战。传统的机械加工很难解决上述问题,有些甚至无法加工。特种加工正是在这种新形势下迅速发展起来的。

所谓特种加工,是直接利用电能、声能、光能、化学能和电化学能等能量形式进行加工的一类方法的总称。特种加工的方法很多,常用的有电火花成形穿孔加工、电火花线切割加工、超声波加工、激光加工和电解加工等。

2. 特种加工的特点

与传统的切削加工相比,特种加工有如下特点。

(1) 工具材料的硬度可大大低于工件材料的硬度。因为特种加工的工具与被加工零件基本不接触,故可加工超硬材料和精密微细零件。

(2) 加工时主要用电能、声能、光能、化学能和电化学能等能量,因此不存在切削力。

(3) 加工机理不同于一般金属切削加工,不产生宏观切屑,不产生强烈的弹、塑性变形,故可获得很低的表面粗糙度,其残余应力、冷作硬化等远比一般金属加工小。

(4) 加工能量易于控制和转换,故加工范围广、适应性强。

3. 特种加工的分类

特种加工一般按照所利用的能量形式分为以下几类:

(1) 电、热能——电火花加工、电子束加工、等离子弧加工;

(2) 电、机械能——离子束加工;

(3) 电、化学能——电解加工、电解抛光;

(4) 电、化学能、机械能——电解磨削、电解珩磨;

(5) 光、热能——激光加工;

(6) 化学能——化学加工、化学抛光;

(7) 液、气、机械能——磨料喷射加工、磨料流加工、液体喷射加工。

由于特种加工方法具有其他加工方法无可比拟的优点,现已成为机械制造一个新的重点领域,并在现代加工技术中占有越来越重要的地位。本章就电火花加工、电解加工、超声波加工、激光加工、电子束加工、离子束加工等加工方法的工作原理、特点及应用场合作简单介绍。

11.2 电火花加工

电火花加工是在一定介质中,利用两极(工具电极和工件电极)之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象对材料进行加工,以使零件的尺寸、形状和表面质量达到预定要求的加工方法。这种加工方法也被称为放电加工或电蚀加工。电火花加工主要包括电火花成形加工和电火花线切割加工,其能量来源形式是电能和热能。

11.2.1 电火花加工的基本原理

1. 极间介质的电离击穿与形成放电通道

电火花加工原理如图 11.1 所示。工件接正极,工具接负极。工具电极和工件电极浸在液体介质中,脉冲电源不断发出电脉冲在工具和工件上,在两极间形成电场。由于电极的微观表面凸凹不平,当两极间的距离很小时,极间相对最近点电场强度最大,最先被击穿。液体介质被电离成电子和正离子,形成放电通道。如图 11.2 所示。

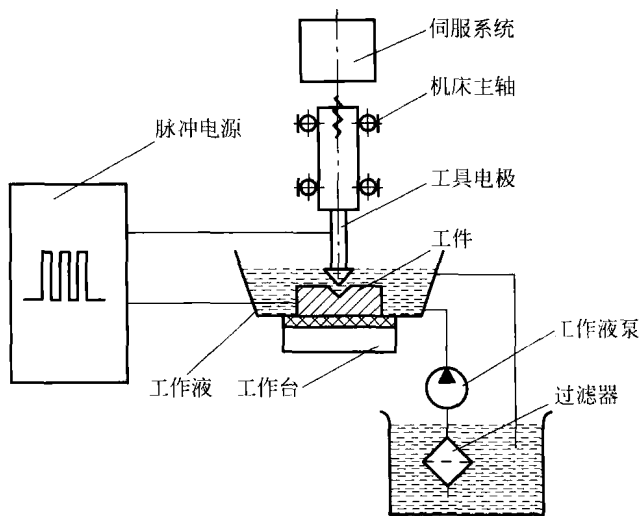


图 11.1 电火花加工原理示意图

2. 能量的转换、分布与传递

在电场力的作用下,通道内的电子高速奔向阳极,正离子奔向阴极,并且在通道内互相碰撞,放出大量的热,使电极表面放电处金属迅速熔化,甚至气化。

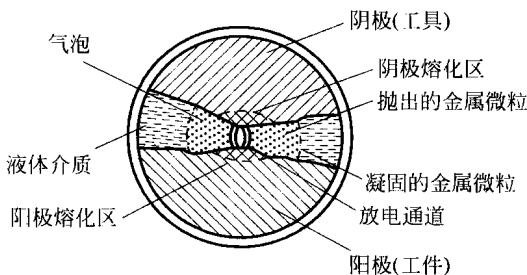


图 11.2 极间的微观放电过程

3. 电极材料的抛出

上述放电过程极为短促,具有爆炸性质。爆炸力把熔化和汽化的金属抛离电极表面,被液体介质迅速冷却凝固,继而从两极间被冲走。

4. 极间介质的消电离

一次火花放电结束,此后应有一段间隔时间,使间隙介质消除电离,恢复本次放电通道处间隙介质的绝缘强度,以免总是重复在同一处发生放电而导致电弧放电。每次火花放电后使工件表面形成一个凹坑。在间隙自动调节器的控制下,工具电极不断进给,脉冲放电将不断进行下去,无数个电蚀小坑重叠在工件上,最终工具电极的形状相当精确地“复印”在工件上。

11.2.2 电火花成形加工的基本条件

- (1) 工具电极和工件电极之间必须保持一定的间隙,一般是几个微米至数百微米。
- (2) 火花放电必须在绝缘介质中进行。
- (3) 放电点局部区域的功率密度足够高,即放电通道要有很高的电流密度(一般为 $10^5 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$)。这样,放电时所产生的热量,才足以使电极表面的局部金属瞬时熔化甚至汽化。
- (4) 火花放电是瞬时的脉冲性放电,放电的持续时间一般为 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ s}$ 。
- (5) 两次放电之间要有间隔时间。

11.2.3 电火花成形机床简介

电火花成形加工是通过工具电极相对于工件作进给运动,把成形工具电极的形状和尺寸复制在工件上,加工出所需的零件,实现这种工艺方法的机床设备统称电火花成形机床。

现以 D7125 电火花加工机床为例介绍电火花成形加工机床的组成和功用。在型号中 D 为电加工机床类代号;71 为电火花穿孔、型腔加工组系代号;25 为机床主参数,为工作台宽度的 1/10,既工作台宽度为 250 mm。电火花加工机床一般由脉冲电源、自动进给机构、机床本体以及工作液循环过滤系统等部分组成,其结构如图 11.3 所示。

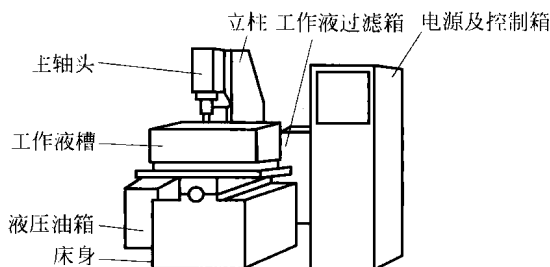


图 11.3 电火花成形加工机

1. 机床本体

机床本体是电火花加工设备的机械部分,由床身、立柱、主轴工作台及工作液槽等部分组成。主轴头是自动控制系统的执行机构。主轴头下装夹工具电极,可带动工具电极沿立柱上的导轨做上下移动,以实现进给。床身用来支持和固定其他部件,其顶面有工作台横向移动的导轨。立柱前面有垂直导轨用来安装主轴头,并为主轴的进给运动导向。

2. 脉冲电源

脉冲电源的作用是将工频交流电转换成一定频率的脉冲电流以提供电火花加工所需的电能。

3. 自动进给系统

电火花加工时必须使工具电极和工件电极之间始终保持某一较小的放电间隙。间隙过大,脉冲电压不能击穿液体介质,无法形成火花放电;间隙过小,容易产生频繁短路,加工过程不稳定,甚至无法加工。电火花加工自动进给系统又称为间隙自动调节系统,其作用就是自动调节工具电极的进给速度,使工具电极和工件电极之间始终保持某一给定放电间隙。同时,自动进给系统还具备短路回退、快速跟进及进给形成控制等功能。

4. 工作液循环过滤系统

电火花成形加工常用的工作液为煤油。工作液循环过滤系统的作用是把经过滤的清洁工作液由液压泵加压,强迫冲入工具与工件之间的放电间隙,将电蚀产物排出加工区域,然后流回工作液箱。

11.2.4 电火花成形加工的精度和表面质量

电火花成形加工时,由于工具电极和工件电极之间存在放电间隙,因此,加工后的孔或型腔的尺寸一定会稍大于电极的尺寸。由于放电间隙不恒定和工具电极的逐步损耗造成加工误差,如尺寸误差、形状误差等。所以,要获得较高的精度,应使间隙较小,而且加工过程要稳定地保持间隙恒定。

电火花加工后的表面质量是指表面粗糙度及表层的化学成分和物理机械性能。表面粗

糙度主要受单个脉冲能量大小的影响。而表层的化学成分和物理机械性能与脉冲频率有关。

11.2.5 电火花成形加工的工艺特点和应用

(1) 适应性强,能够加工任何能导电的硬脆、软韧及难切削材料,如淬硬钢和硬质合金。工具电极一般采用紫铜或石墨。

(2) 加工时无切削力。因此,可以加工一些难以加工的小孔、窄槽、薄壁件和各种特殊及复杂形状截面的型孔、型腔等,如加工形状复杂的注塑模、压铸模及锻模等。

(3) 电脉冲参数可以任意调整,加工过程基本上没有热变形的影响。因此,一台电火花加工机床可以连续地进行粗加工、半精加工和精加工。

11.3 数控电火花线切割加工

1. 数控电火花线切割加工特点

- (1) 适合于难切削材料的加工,可加工像聚晶金刚石、立方氮化硼一类的超硬材料。
- (2) 可以加工特殊、低刚度、复杂形状的零件。
- (3) 易于实现加工过程自动化,易于数字控制、适应控制、智能化控制和无人操作等。
- (4) 只能加工金属等导电材料。

2. 数控电火花线切割加工的分类、加工范围、工具电极及夹具

1) 数控电火花线切割加工机床的分类

(1) 按走丝速度大小,可分为快走丝线切割机床、慢走丝线切割机床和混合式线切割机床。

快走丝线切割机床的加工效率比慢走丝机床高,加工精度和表面质量比慢走丝机床稍差,加工成本比慢走丝机床低。

(2) 按加工精度的高低,可分为普通精度型及高精度精密型两大类线切割机床。绝大多数慢走丝线切割机床属于高精度精密型机床。

2) 数控电火花线切割机床的加工范围

- (1) 加工模具,适用于各种形状的冲模。
- (2) 加工电火花成形加工使用的电极。
- (3) 加工普通零件,还可以加工特殊难加工材料的零件、材料试验样件、各种型孔、特殊齿轮、样板、成形刀具、精密狭槽等。

(4) 贵重金属下料。线切割加工用的电极丝尺寸远小于切削刀具尺寸(最细的电极丝尺寸可达 0.02 mm),用它切割贵重金属,可节约很多切缝消耗。

3) 工具电极

工具电极为细金属导线,材料为铜丝或钼丝,快走丝机床工具电极一般为钼丝。

3. 数控电火花线切割加工原理

线切割加工机床加工工件时,主要是利用移动的细金属导线(铜丝或钼丝)作为工具电极,根据事先编制好的程序按控制系统给出的轨迹指令运动,对工件进行脉冲火花放电,使工件切割成形。电火花线切割加工工件时,工件与电极丝分别连接电源的正负两极,两极间充满介质(工作液),电极丝与工件之间进行脉冲火花放电,如图 11.4 所示。当来一个电脉冲时,将介质击穿,在电极丝和工件之间产生一次火花放电,并释放出大量能量,在放电通道的中心温度瞬时可高达 $3000\sim 10000^{\circ}\text{C}$ 以上,高温使工件熔化,甚至有少量气化,高温也使电极丝和工件之间的工作液部分产生气化,这些气化后的工作液和金属蒸气迅速热膨胀,并具有爆炸的特性。这种热膨胀和局部微爆炸,抛出熔化和气化了的金属材料,在工件表面形成了一个电蚀坑,当不断高频率重复放电时,就可以实现对工件材料进行电蚀切割加工。

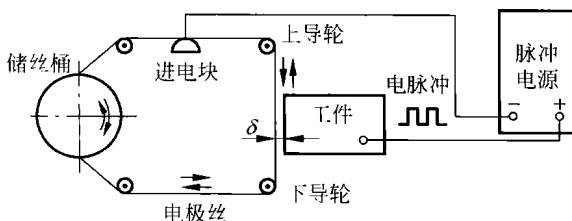


图 11.4 线切割工作原理图

火花放电不同于电弧放电,电弧放电常引起工件与电极的烧伤。火花放电与电弧放电最主要的区别在于:电弧放电为多次连续在同一处放电;电弧放电的击穿电压低于火花放电的击穿电压;电弧放电的蚀除量也少于火花放电。

4. 数控电火花线切割加工工件的一般步骤

- (1) 分析零件图纸,并根据图纸要求按照机床所能接受的一定格式的程序语言通过手工编程或软件自动编程的方式生成程序代码文件,即 CNC 数据文件。
- (2) 数据输入或传输,将生成的程序代码文件输入到机床的数控系统中。
- (3) 校验程序的正确性。
- (4) 调整机床。
- (5) 安装工件和工具电极。
- (6) 根据预先设置的穿丝点、切入点和切割方向,调整电极丝与工件之间的相对位置,保证工件切割完整和机床安全。
- (7) 运行程序,加工工件。

11.4 激光加工

激光加工是利用功率密度极高的激光束照射被加工部位,使材料瞬间熔化或蒸发,并在冲击波作用下将熔融物质喷射出去,从而对工件进行穿孔、蚀刻、切割;或采用较小的能量密

度,使被加工区域材料呈熔融状态,对工件进行焊接。

1. 激光加工原理

激光加工的物理基础是激光与材料的相互作用。这是一个广泛的概念和复杂的过程,它既包含微观量子过程,也包含激光作用于材料时发生的宏观现象,主要有:材料对激光的吸收、反射,能量转换与传递,材料状态及周围气体成分,光束作用于材料表面时的组织效应等。激光加工的一般原理是材料吸收光能并转化为热能使材料加热、熔化、汽化及冷凝。

2. 激光加工设备

激光加工的基本设备包括激光器、电源、光学系统、机械系统、控制系统及安全防护系统6大部分。图 11.5 所示为激光加工设备结构框图。

(1) 激光器 激光器是激光加工设备的核心部分,其作用是电能转变为光能,并产生所需的激光束。激光器按其工作物质的种类可分为:固体激光器、液体激光器、气体激光器和半导体激光器四大类。目前,用于激光加工的主要是二氧化碳气体激光器和红宝石、钕玻璃、钕铝石榴石等固体激光器。

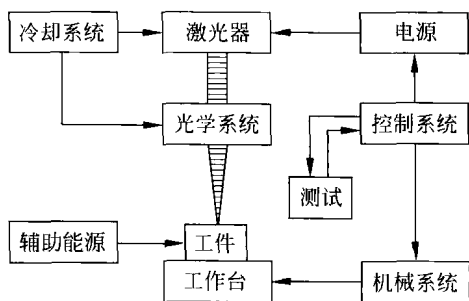


图 11.5 激光加工设备结构框图

(2) 电源 电源为激光器提供高压电能源。

根据加工工艺的要求,电源可在连续或脉冲的状态下运转。

(3) 光学系统 光学系统的作用是把激光束从激光器输出窗口引导至被加工工件位置上,并在加工部位获得所需的光斑形状、尺寸及功率密度。光学系统由导光系统(包括折反镜、分光镜、光导纤维及耦合元件等)、观察系统及改善光束性能装置等部分组成。

(4) 机械系统 机械系统主要包括床身、工作台,它用来确定工件相对于加工系统的位置。

(5) 控制系统 控制系统用以控制和协调整个激光加工机的动作、开边激光加工机的可调工艺参数、脉冲或连续或重复频率等运行方式的控制。特别是激光加工机的运行速度快,同时要满足各种复杂曲面的要求,因此对数控系统的插补速度、分解速度及数据采集与处理等功能有更高的要求。

(6) 安全防护系统 安全防护系统主要用来保护操作者及有关人员免受激光辐射损伤,其次是保证整个系统的安全运行。

3. 激光加工的应用

激光加工作为一种精密细微的加工方法,因其单色性、方向性以及能量密度高度集中性等特点,几乎能加工所有材料,加工速度快、热影响区小。现已广泛应用于陶瓷、玻璃、宝石及金刚石等非金属材料 and 硬质合金、不锈钢等金属材料的小孔、微孔加工以及多种材料成形切割、焊接、表面处理等。

(1) 激光打孔 目前,激光打小孔技术已经广泛应用于火箭发动机和柴油机的燃料喷

嘴、化学纤维喷丝头、钟表及仪表中的宝石轴承、金刚石拉丝模等小孔加工中。

(2) 激光切割 激光切割是材料激光加工中应用最广泛的一种工艺。切割缝宽度可达 $0.15\sim 0.2\text{ mm}$ 。激光切割的厚度：金属材料可达 10 mm ；非金属材料可达 $20\sim 30\text{ mm}$ 。

(3) 激光焊接 激光焊接可以在大气中将两种材料或两个工件焊接在一起。焊接过程极为迅速，热影响区小，焊接质量好。

(4) 激光雕刻 利用激光可以在金属和非金属材料上进行刻蚀加工。在刻蚀加工过程中，激光头运动速度与显示屏图形变化同步，因此加工过程直观、明了。

(5) 激光表面处理 利用激光对金属表面扫描，可以对零件表面做强化处理、表面合金化处理等。由于利用这种强化方法可以改变零部件各部分的性能，故可用比较便宜的结构材料，得到具有非常高的强度、耐磨性和长使用寿命的零部件。

11.5 超声波加工

超声波加工是利用工具端面在磨料悬浮液中的超声波振动，迫使磨料悬浮液中的磨粒高速撞击、抛磨被加工表面，使加工区域的工件材料破碎成细微颗粒，从而实现加工的一种方法。

1. 超声波加工基本原理

超声加工原理如图 11.6 所示。在工件和工具之间注入液体（水或煤油等）和磨料混合的悬浮液，使工具对工件保持一定的进给压力，并将超声波发生器产生的超声频振荡，通过换能器转换成超声频纵向振动，并借助变幅杆把振幅放大到 $0.05\sim 0.1\text{ mm}$ ，驱动工具端面作超声振动。此时，工作液中的悬浮磨粒在工具端面超声振动的迫使下，以很高的速度不断撞击、抛磨工件上的被加工表面，使该表面材料产生疲劳破坏，碎裂成细小颗粒脱离工件本体，在工件加工区域留下密集的细小凹坑。工作液受工具端面的超声振动作用而产生高频、交变的液压冲击波和空化作用也会加剧工件材料的机械破碎效果，同时液压冲击波也有利于工作液在加工间隙中循环流动，使磨粒不断更新，并将加工碎屑排出加工区域。随着加工的不断进行，工具在恒定压力的作用下逐渐深入到工件材料中，工具形状便“复印”在工件上。

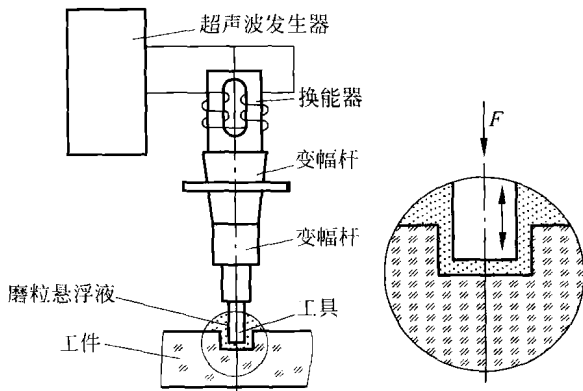


图 11.6 超声加工原理示意图

2. 超声波加工的特点

(1) 超声波加工主要适用于加工脆硬材料,特别是不导电的非金属材料 and 半导体材料,例如玻璃、陶瓷、宝石、金刚石以及硅和锗等,而对于硬度小、塑性好的材料则无明显加工效果。

(2) 工具材料的硬度可以低于被加工工件材料。超声加工中工件材料的去除是靠磨粒直接作用,因此易于加工各种复杂形状的工件,加工中不需要工具作复杂的运动。

(3) 超声波加工是靠极小的磨料作用,无宏观机械力,所以加工精度较高,一般可达到 0.02 mm ,表面粗糙度 $Ra0.1\sim1.25\text{ }\mu\text{m}$,被加工表面也无残余应力、组织改变及烧伤等现象。

3. 超声波加工的应用

超声加工的生产率一般低于电火花加工和电解加工,但加工精度和表面质量都优于前者。重要的是它能加工前者所难以加工的半导体和非金属材料,如玻璃、陶瓷、石英、宝石及金刚石等。

(1) 型孔、型腔的加工 目前,超声波加工主要用于加工脆硬材料的圆孔、异形孔和各种型腔,以及进行套料、雕刻和研抛等,如图 11.7 所示。

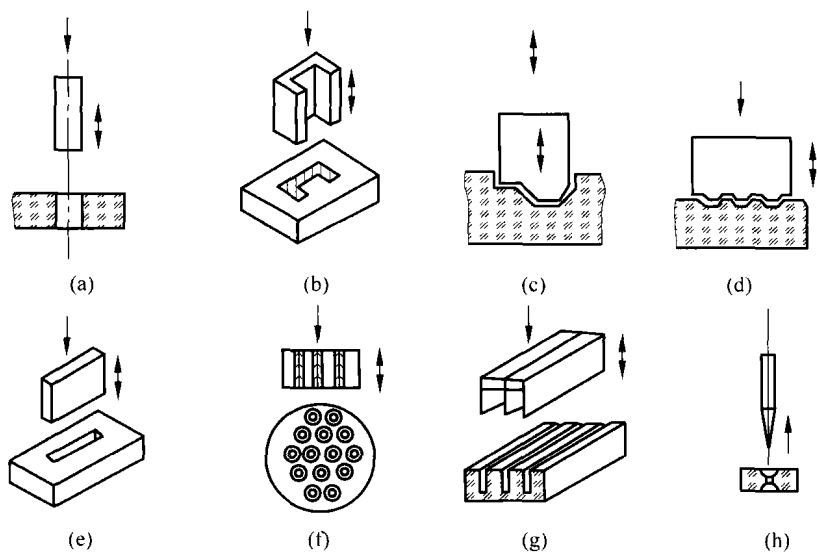


图 11.7 超声波加工的应用

(2) 超声波切割加工 半导体材料锗、硅等又硬又脆,用机械切割非常困难,采用超声波加工则十分有效。

(3) 超声波清洗 由于超声波在液体中会产生交变冲击波和超声空化现象,这两种作用的强度达到一定值时,产生的微冲击就可以使被清洗物表面的污渍遭到破坏并脱落下来。加上超声作用无处不在,即使是小孔和窄缝中的污物也容易被清洗干净。目前,超声波不但用于机械零件或电子器件的清洗,根据超声振动去污原理,已生产出超声波洗衣机。

(4) 超声抛磨 采用超声抛磨的方法,可以方便地去除电火花加工后工件表面的硬脆变质层,提高表面粗糙度。

11.6 电解加工

电解加工是利用金属在电解液中发生阳极溶解的电化学反应原理,将金属材料加工成形的一种方法。

1. 电解加工的基本原理

电解加工原理如图 11.8 所示。用氯化钠水溶液作电解液,工件接直流电源正极,工具接电源负极,两极之间保持较小间隙,浸入电解液中。当直流电源在工具电极和工件电极之间施加一定的电压时,将产生电化学反应,其结果是阳极工件表面的金属材料因阳极溶解反应不断地溶入电解液中,并在电解液中进一步形成絮状电解产物。电解产物被高速流动的电解液及时冲走,使阳极工件表面材料的溶解能够不断进行,从而实现对工件材料的去除加工。

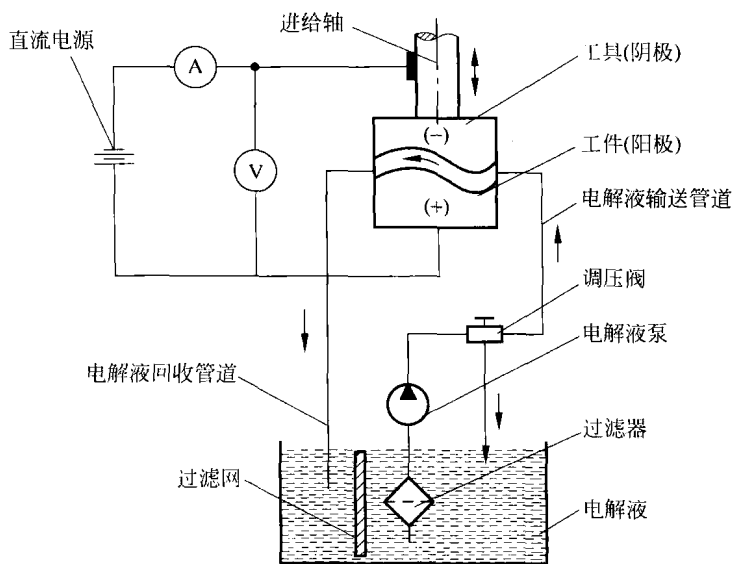


图 11.8 电解加工原理示意图

电解加工原理如图 11.9 所示。图中的细实线表示通过工件与工具两极之间的电流,细实线的疏密程度表示电流密度的大小。在刚开始加工时,工具上各点到工件表面的距离不同,各点的电流密度也就不同。工具与工件距离近的地方,电流密度大,工件表面溶解速度快;反之,距离远的地方,电流密度小,工件表面溶解速度慢。随着工具不断地向工件进给,电解加工不断进行,工具与工件之间的距离就会逐渐趋于一致,从而使工具的型面“复印”在工件上,完成工件型面的成形加工。

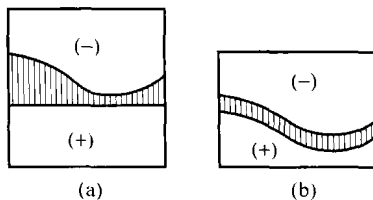


图 11.9 电解加工成形原理

2. 电解加工的特点和应用

(1) 电解加工范围广,不受金属材料本身硬度和强度的限制,可加工高硬度、高强度和高韧性等难切削的金属材

(2) 能以简单的进给运动一次加工出形状复杂的型面或型腔(如锻模、叶片等),生产率较高,约为电火花加工的 5~10 倍。

(3) 加工过程中无机械切削力和切削热。因此,加工后零件表面没有残余应力和变形,适合于易变形或薄壁零件的加工。

(4) 工具(阴极)从理论上将不会损耗,可长期使用。

电解加工工艺的应用范围很广,适宜于加工型面、型腔、穿孔套料以及去毛刺、刻印等表面。电解抛光专用于提高表面质量,对于复杂表面和内表面特别适合。

11.7 电子束加工

1. 电子束加工原理及特点

电子束加工是在真空条件下,利用电子枪中产生的电子经加速、聚焦,形成高能量大密度($10^6 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$)的极细束流,以极高的速度轰击工件被加工部位。由于其能量大部分转换为热能而导致该部位的材料在极短时间(几分之一微秒)内达到几千摄氏度以上的高温,从而引起该处的材料熔化或蒸发;或者利用能量密度较低电子束轰击高分子材料,使它的分子链切断或重新聚合,从而使高分子材料的化学性质和分子量产生变化进行加工的方法。电子束的电热效应早在 20 世纪初已被人们认识和应用。最早是用电子束熔炼难熔金属,后来又广泛地用电子束进行精细焊接。近数十年来,用电子束打孔与切割的应用也较多。在集成电路的制作中,利用电子束的化学效应制造掩膜图形已成为目前最好及最通用的高分辨率图形生成技术。

电子束加工的特点如下所述。

(1) 由于电子束能够极其微细地聚焦(束径可达微米级),且在微小面积上可达到很大的功率密度,因此在轰击点处的瞬时温度可达数千度高温,足以使任何材料熔化或气化。由此可知,电子束可用来加工任何材料的微孔或窄缝、半导体电路等,是一种精密微细加工方法。

(2) 由于电子束的瞬时热能作用在极微小面积上,所以加工部位的热影响区很小;在加工过程中无机械力作用,故加工后不产生受力变形;此外电子束加工也不存在工具消耗问题。所以它的加工精度高、表面质量也好。

(3) 能够通过磁场或电场对电子束的强度、位置、聚焦进行直接控制。位置控制的准确度可达 $0.1 \mu\text{m}$ 左右,强度和束斑的大小控制误差也易达到 1% 以下。通过磁场或电场几乎可以无惯性、无功率地控制电子束,便于采用计算机控制,实现加工过程自动化。

(4) 由于电子束加工是在真空中进行,因此污染少,加工点处能保持原来材料的纯度。适合于加工易氧化的金属及合金材料,特别是要求纯度极高的半导体材料。

(5) 电子束加工需要一套价格昂贵的专用设备,加工成本高。

2. 电子束加工的应用

电子束加工可分为两类:一类称为“热型”,即利用电子束把材料的局部加热至熔化或气化点进行加工,如打孔、切割、焊接等;另一类称为“非热型”,即利用电子束的化学效应进行刻蚀的技术,如电子束的光刻等。

(1) 电子束热效应加工

在电子束的热效应加工中,可通过调整功率密度来达到不同的加工目的,如淬火、熔炼、切割、打孔等。

(2) 电子束化学效应加工

用低功率密度的电子束照射工件表面虽不会引起表面的温升,但入射电子与高分子材料的碰撞,会导致它们的分子链的切断或重新聚合,从而使高分子材料的化学性质和分子量产生变化,这种现象叫电子束的化学效应,利用这种效应进行加工的方法叫电子束光刻。由于电子束曝光系统工作柔性大,又能连续扫描写图,既是精密微细图形写图设备,也是目前大规模(LST)及超大规模(VLST)掩膜或基片光刻的主要设备。除此之外,电子束可作为光源进行图形复印等工作。

11.8 离子束加工

1. 离子束加工原理及特点

利用离子源产生的离子,在真空中经加速聚焦而形成高速高能的束状离子流,使之打击到工件表面上,从而对工件进行加工的方法称为离子束加工。离子束加工与电子束加工所不同的是:在离子束加工时,加速的物质是带正电的离子而不是电子,由于离子质量比电子质量大得多(例如 Ar 离子质量是电子质量的 7.2 万倍),所以一旦离子加速到高速时,离子束比电子束具有更大的撞击能量;其次,电子束加工主要是靠热效应进行,而离子束加工主要是通过离子撞击工件材料时引起的破坏、分离或直接将离子注入加工表面等机械作用进行加工。

离子束加工具有以下特点:

- (1) 它易于精确控制,工艺能力广泛,是当前最有前途的精密、微细加工技术;
- (2) 离子束是利用机械碰撞能量加工,故对金属、非金属都可适用;
- (3) 由于是靠碰撞去除或注入材料,而且此过程是在极微小面积上进行的,所以产生的热量很小,加工的表面质量好;
- (4) 易于实现自动化;
- (5) 设备费用高,成本高,效率低。

2. 离子束加工的应用

离子束加工是一种新的加工技术,它的应用范围正在日益扩大。离子束加工可以归纳

为离子溅射附着加工、离子刻蚀加工及离子注入三类。

(1) 离子溅射附着加工 离子溅射附着加工有溅射沉积加工及离子镀两种。离子溅射沉积加工是用能量为 $0.1\sim 5\text{ keV}$ 的离子束轰击某种材料制成的靶材,离子束将靶材的原子轰击出并使其沉积在靶材附近的工件上,这样就在工件表面沉积一层薄膜改善了工件表面的性能。离子镀不仅接受靶材溅射出来的原子,而且工件表面还要受到离子的轰击,离子的轰击作用可以增强靶材原子与工件基材之间的结合力。

(2) 离子刻蚀加工 离子刻蚀加工是靠带 $0.1\sim 5\text{ keV}$ 的离子束打到工件表面上,当高速运动的离子束传递到材料表面上的能量超过工件表面原子(或分子)间的键合力时,使材料表面的原子(分子)溅射出来,达到加工的目的。利用以上原理,可以直接在工件上加工平面或异形表面。所谓离子铣、离子研磨、离子抛光、离子减薄等均属于离子刻蚀加工范畴。

(3) 离子注入 用 $10\sim 60\text{ keV}$ 能量的离子束轰击工件表面,使离子钻进被加工材料表面层,以改变表面层性能的方法,称为离子注入加工。离子注入的应用范围很广,如将离子强行注入金属表面可以改变表面层性能,且被注入的元素的种类和数量不受合金系统平衡相图中固溶度的限制,因而可以获得用一般冶金工艺无法得到的各种表面合金。除此之外,离子注入还可用于光通信的玻璃纤维加工,使纤维表面的光折射率达到最佳值,以及应用在半导体掺杂方面。

11.9 水喷射加工

1. 加工原理及特点

水喷射加工是将低压水经过压力发生器增压到几百 MPa 后,以极高的速度(约为音速的 3 倍)从喷嘴喷出形成射流束,被加工材料在射流束的冲击作用下,实现切割、去毛刺等加工。

水喷射加工的特点如下。

(1) 由于使用水为工作介质,其价格便宜,易于处理,且处理后的水可以重复使用,无毒,不污染环境。

(2) 加工中的“切屑”混入水中排除,故无灰尘,工作地点清洁。

(3) 由于加工时产生的热量几乎全部被水带走,故加工质量好,工件也不变形。

(4) 设备维护简单,可以很方便地加工出二维空间的任意形状。

(5) 若将动力部件及泵等设置远离工作场地,则工作地点的噪声低。

2. 水喷射加工的应用

目前,用水或水加砂作介质的水喷射加工主要用于切割加工,此外也有用于去工件毛刺的场合。

水喷射切割加工应用范围较广,如它可用来切割纸板、纸层压管、衣料、地毯、皮革、飞机和汽车内的装潢板、仪表盘等;此外也可用于切割碳/环氧复合材料、钛合金板等。水喷射切割机床除具有高压水射流发生装置外,一般都配有两坐标数控工作台(也有能控制喷嘴运动

的三坐标系),可利用计算机控制实现复杂形状的加工要求。

此外,间歇地向金属表面层喷射高压水,使金属表面产生塑性变形,可以达到类似于喷丸处理的效果。与喷丸处理比较,水喷射处理具有清洁、噪声低、工作介质(水)便宜等优点。

复习思考题

1. 什么是特种加工? 与传统的切削加工相比,它有何特点?
2. 电火花加工的原理是什么?
3. 什么是超声波加工? 主要应用于加工哪些材料?
4. 什么是激光加工? 其主要用于哪些场合的加工?
5. 电解加工原理与应用范围是什么?
6. 电火花线切割加工的特点是什么?
7. 线切割加工的基本原理是什么?
8. 哪些工件或材料适合采用电火花线切割加工?

12.1 粉末冶金成形工艺

粉末冶金是一种以金属粉末或金属与非金属粉末的混合物为原料,经过成形和烧结而制取金属材料、复合材料及其制品的工艺过程。粉末冶金既是制取金属材料的冶金方法,又是制造零件的加工方法。粉末冶金的工艺流程如图 12.1 所示。典型的粉末冶金工艺过程是:原料粉末的制备;粉末物料在专用压模中加压成形,得到一定形状和尺寸的压坯;压坯在低于基体金属熔点的温度下加热,使制品获得最终的物理、力学性能。粉末冶金成形工艺既是制造具有特殊性能材料的技术,又是一种能降低成本、大批量制造机械零件的无切削、少切削加工工艺。

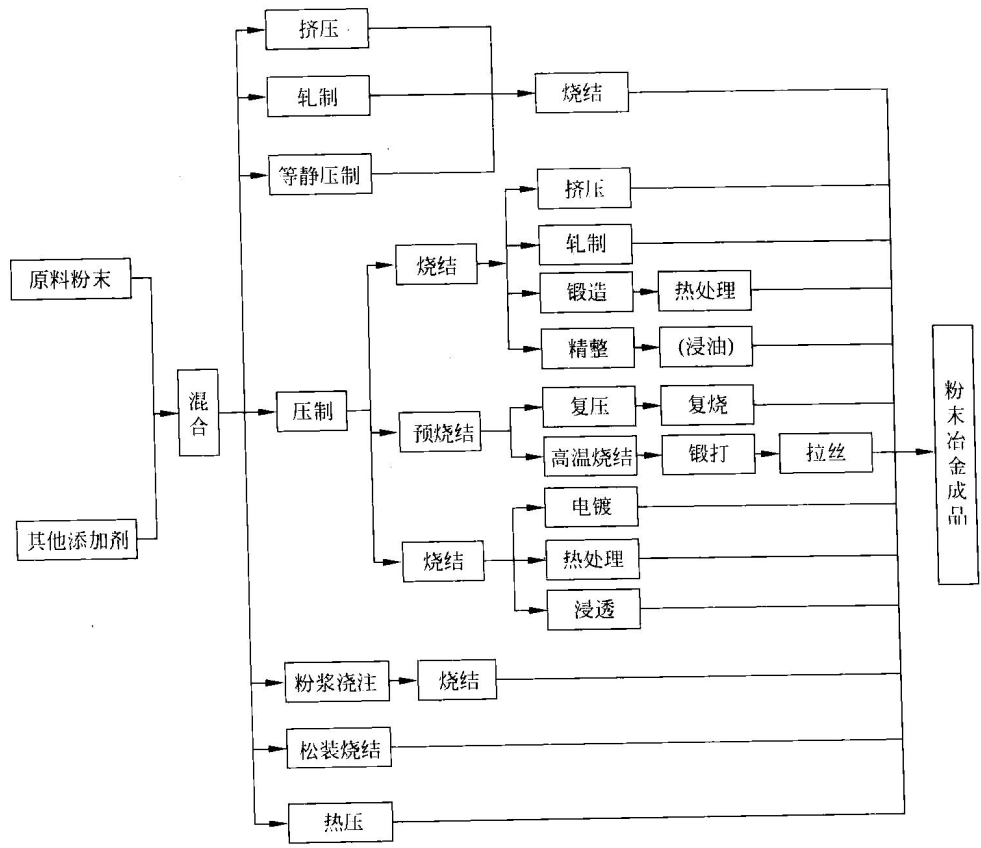


图 12.1 粉末冶金的工艺流程

目前采用粉末冶金工艺可以制造板、带、棒、管、丝等各种型材,以及齿轮、链轮、棘轮、轴套等各种零件;可以制造重量仅百分之几克的小制品,也可以用热等静压法制造近两吨重的大型坯料。对粉末冶金工艺的研究是当今世界各工业发达国家都十分重视的课题。下面对粉末冶金成形工艺做简要介绍。

12.1.1 粉料制备

粉末冶金的生产工艺是从制取原材料(粉末)开始的。这些粉末可以是纯金属,也可以是非金属,还可以是化合物。制取粉末的方法很多,它的选择主要取决于该材料的特殊性能及制取方法的成本。

金属粉末的制取方法可以分成机械法和物理化学法两大类。机械法制取粉末是将原材料机械地粉碎而化学成分基本上不发生变化的工艺过程。物理化学法则是借助化学的或物理的作用,改变原材料的化学成分或聚集状态而获得粉末的工艺过程。

粉末的生产方法很多,应用最广泛的是还原法、雾化法和电解法;而气相沉积法和液相沉淀法在特殊应用时亦很重要。

12.1.2 粉末成形方法

将处理过的粉末经过成形工序,得到具有既定形状与强度的粉末体,叫做压坯。粉末成形可以用普通模压法或用特殊成形方法成形。前者是将金属粉末或混合粉末装在压模内,通过压机使其成形。特殊成形是指各种非模压成形。其中,应用最广泛的是普通模压法成形。

1. 普通模压法成形

模压法成形是将配制好的粉末装在钢制压膜内,通过冲模对粉末按规定的单位压力加压,卸压后压坯从凹模内取出。图 12.2 是压制模具示意图。成形压力越大,粉末颗粒之间的孔隙越小,压坯的密度、强度越高。压坯的强度主要来自粉末颗粒之间的机械啮合力和粉末颗粒表面原子之间的引力。但是在生产中,为了使压坯具有足够的强度,往往在成形前添加成形剂。在压制过程中,粉末在压力的作用下流动,由于粉末与粉末之间,粉末与模壁之间存在摩擦,不能像液体那样压力处处相等,所以压坯各个部位的密度和强度并不是非常均匀的。为了提高压坯密度的均匀性,可以加入适当的润滑剂、降低压膜与粉末接触表面的粗糙度,并在模壁上涂润滑油、采用双向压制等。

在封闭钢模中冷压成形时,其最基本的压制方式有三种,如图 12.3 所示。其他压制方式或是基本方式的组合或是用不同结构来实现。

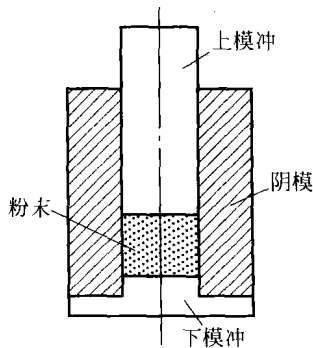


图 12.2 压制模具示意图

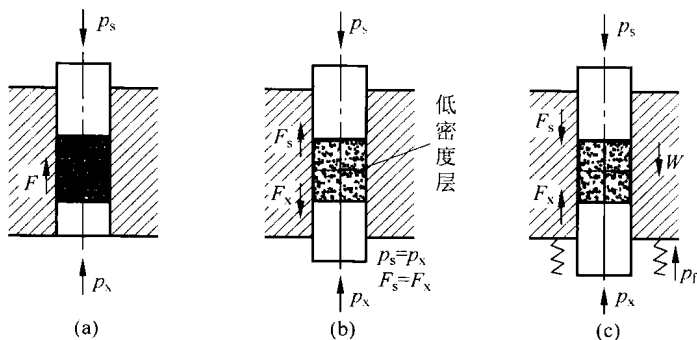


图 12.3 三种基本压制方法

(a) 单向压制; (b) 双向压制; (c) 浮动压制

2. 特殊成形方法

粉末冶金成形方法很多,除了普通模压成形法,按其工作原理和特点还有等静压成形、连续成形、高能成形等,这些都统称为特殊成形。现简述几种成形方法。

1) 等静压成形

等静压成形的基本原理是借助于高压泵的作用把流体介质(气体或液体)压入耐高压的钢质密封容器内(见图 12.4),高压流体的静压力直接作用在弹性模套内的粉末上;粉末体在同一时间内在各个方向上均衡地受压而获得密度分布均匀和强度较高的压坯。

通常,等静压成形按其特性分为冷等静压和热等静压。前者常用水或油作压力介质,故有液静压、水静压或油水静压之称;后者常用气体(如氩气)作压力介质,故有气体热等静压之称。等静压制时,由于粉末体与弹性模具的相对移动很小,摩擦损耗很小,所以压坯任一断面上各点的密度将是大体上相同的。

等静压制和普通钢模压制相比,其主要优点是压坯的密度高且均匀,压坯的强度较高,能够压制凹形、空心等复杂形状的压坯,能够压制各种金属和非金属粉末;

主要缺点是压坯表面较粗糙,生产效率较低。由于等静压设备,特别是热等静压设备价格昂贵,所以这种方法主要用来生产一些重要的或要求密度很高的粉末冶金产品及高级陶瓷材料。

2) 金属粉末轧制

将金属粉末通过一个特制的漏斗喂入转动的轧辊缝中,即可轧出具有一定厚度的长度连续的、并且强度适宜的板带坯料。这些坯料经预烧结、烧结,又经轧制加工以及热处理等工序,就可制成有一定孔隙度的,或致密的粉末冶金板带材(如图 12.5 所示)。

粉末轧制法与模压法相比,优点是制品的长度原则上不受限制;轧制制品密度比较均匀。但是,粉末轧制法生产的带材厚度受轧辊直径的限制(一股不超过 10 mm),宽度也受到

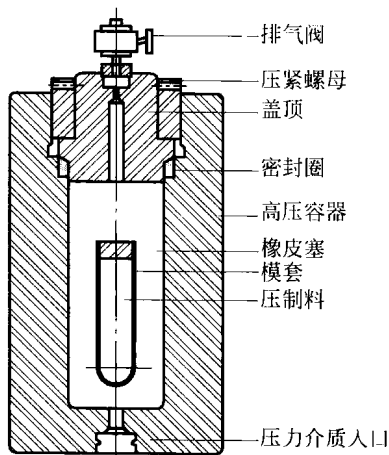


图 12.4 等静压制原理图

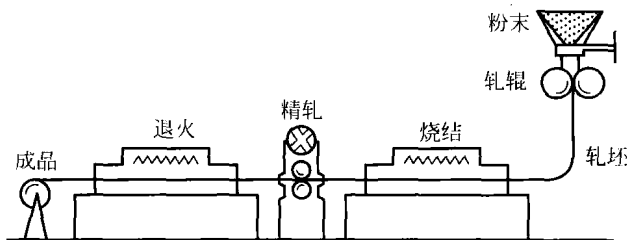


图 12.5 粉末轧制工艺示意图

轧辊宽度的限制。粉末轧制法只能制取形状较简单的板带材。

3) 粉浆浇注

粉浆浇注是金属粉末在不施加外压力的情况下而实现成形的过程。其方法是将成形材料首先与水或其他液体调成悬浮液浆，并注入能够吸收液体的石膏模内；然后再从石膏模中取出干涸的坯块，并进行最后烘干（见图 12.6）。这种方法是从陶瓷技术引入的。对于压制性差的脆性粉末，如碳化物、硅化物、氮化物、铬和硅等粉末，粉浆浇注是特别有效的成形方法。

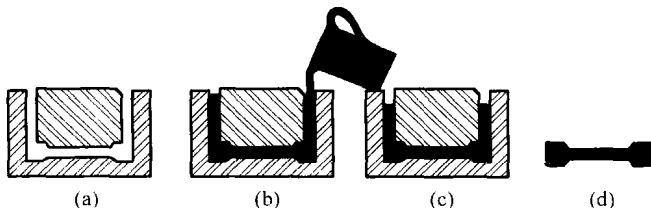


图 12.6 粉末浇注工艺原理图

(a) 组合石膏模；(b) 粉浆浇注入模；(c) 吸收粉浆水分；(d) 成形注件

同时，用粉浆浇注可以不使用压力机和钢制模具，对于制造较大而复杂的粉末冶金部件成本可以降低，而且所用设备简单。虽然粉浆浇注法有上述优点，但是，粉浆浇注的生产周期长，生产率低。

4) 喷射成形

喷射成形是将喷射沉积与成形技术结合在一起把金属或合金加工成为成品或半成品的新工艺。它不需要先制成金属粉末，而是将液态金属用高压惰性气体雾化。直接沉积在衬板上预成形，然后再用金属压力加工的方法进行成形加工，从而获得所需的板、带、管材。

喷射成形能够制取各种异形板、带、管、筒等半成品或成品：沉积金属的冷却速度可以达到 10^4 K/s 以上，再经过轧制可以使制品具有晶粒细小、结构均匀、致密、无偏析等优良特性；调节喷射成形工艺参数，增大冷却速度，还可以得到准晶或非晶态的制品。喷射成形还可以制造多层单元金属或合金的复合材料及制品（如铝-铜-铝复合材料）；能制造层状金属与增强颗粒的复合材料。一些用一般锻造方法难以加工的合金钢和高温合金（可锻性很差）锻件，也可以用喷射成形的方法制得（先喷射成形，再进行锻造。因工件具有细晶结构且各向同性，所以可锻性明显提高）。

5) 粉末注射成形

粉末注射成形是粉末冶金技术与塑料注射成形技术相结合的一种新工艺。其过程是首

先将粉末与热塑性黏结剂(如聚苯乙烯)均匀混合,使其成为在一定温度下具有良好流动性的流态物质;而后把这种流态物装入注射成形机的料斗,在一定的温度和压力下将其注射进入模具内成形。所得到的坏块在进行烧结之前需要将其中的热塑性黏结剂去除,所用的方法有溶解浸出法和加热分解法(蒸发法),加热分解法可以和烧结过程联系在一起进行。

粉末注射成形工艺可以制出形状复杂的坏块,并且形状和尺寸的精度高。所用的粉末颗粒较细(一般在 $1\sim 20\ \mu\text{m}$ 以下),粉末形状多为球形。由于注射成形坏块受压过程是均匀的等静压制过程,所以产品的密度较高且均匀,力学性能各向同性。目前,粉末冶金注射成形的零件截面尺寸为 $25\sim 50\ \text{mm}$,单件质量在 $0.1\sim 150\ \text{g}$ 之间,适用于生产批量大、外形复杂、尺寸小的粉末冶金零件。

12.1.3 烧结

烧结是粉末或粉末压坯,在适当的温度和气氛条件下加热,使粉末颗粒之间通过原子扩散发生黏结,粉末颗粒的聚集体变成为晶粒的聚结体,从而获得具有所需物理性能和机械性能的制品或材料。烧结是粉末冶金生产过程中必不可少的工序。从根本上说,粉末冶金是由粉末成形和粉末毛坯烧结这两道基本工序组成的。

对于烧结工序的要求主要是:制品的强度要高,物理、化学性能要好,尺寸、形状及材质的偏差要小,适合于大生产,烧结炉易于管理和维修等。

为了达到所要求的性能和尺寸精度,需要烧结炉能调节并控制升温速度、烧结温度与时间、冷却速度,以及炉内保护气氛等因素。烧结炉种类较多,按照加热方式,可分为燃料加热和电加热。根据作业连续性,可分为间歇式和连续式两类烧结炉。

粉末的等温烧结过程,按时间大致可以分成以下三个阶段。

1) 黏结阶段

烧结初期,粉末颗粒间的原始接触点或面转变成晶体结合,即通过形核、长大的结晶过程形成烧结颈。在此阶段,颗粒内部的晶粒不发生变化,颗粒外形也基本未变,整个烧结体尚未发生收缩,密度增加极少;但烧结体的强度和导电性由于颗粒结合面增大而有明显增加。

2) 烧结颈长大阶段

原子向颗粒结合面迁移使烧结颈扩大,颗粒间距缩小,形成连续的孔隙网络。随着晶粒长大,孔隙大量消失,烧结体收缩密度和强度增加。

3) 闭孔隙球化和缩小阶段

当烧结体密度达到 90% 以后,多数孔隙被完全分隔而成为封闭的孔隙,封闭的孔隙形状趋于球形,并不断缩小。这个阶段可以延续很长时间,但是仍残留少量的封闭孔隙不能消除。

上述三个阶段仅仅说明烧结的主要过程,其实烧结过程中还有一些可能出现的现象,如粉末表面气体或水分的挥发、氧化物的还原和离解、金属的回复和再结晶以及晶体的长大、颗粒内应力的消除等。

烧结的方法和方式要根据粉末的组成、产品的性能要求、工件的形状尺寸、生产批量等因素来选择。在满足质量要求的前提下,尽量选择生产成本低廉的烧结方法和方式。

12.1.4 后处理

为了进一步提高粉末冶金制品的性能和形状、尺寸精度,往往需要对烧结后的坯件再进行后处理(如切削加工、锻造、轧制、焊接、热处理、浸渗处理等)。后处理种类很多,根据产品要求来确定具体的后处理方法。

1. 浸渍

浸渍是利用烧结件的多孔性的毛细现象,浸入各种液体。如为了润滑目的,可浸润滑油、聚四氟乙烯溶液、铅溶液等;为了提高强度和防腐能力,可浸铜溶液;为了表面保护可浸树脂或清漆等。

2. 表面冷挤压

如为了提高零件的尺寸精度和表面质量,可采用整形;为了提高零件的密度,可采用复压;为了改变零件的形状或表面形状,可采用精压。

此外,对于零件上的横槽、横孔以及高的轴向尺寸,精度面需进行切削加工后处理,以及为提高铁基制品的强度和硬度可进行热处理等。

12.2 塑料成形工艺

塑料是以高分子合成树脂为主要成分,在一定温度和压力下,可塑制成一定形状、且在一定条件下保持不变的材料。塑料特性是:重量轻、比强度高、有良好的耐腐蚀性、电绝缘性、减振减磨性和加工成形性,但强度、硬度较低,耐热性也差,易产生老化和蠕变等。

随着石油化工的发展和加工技术的提高,塑料的产量逐年增多,应用领域不断扩大。塑料已成为国民经济中不可缺少的基础材料,广泛渗入日常生活和工程技术领域。塑料制品生产主要包括成形、机械加工、修饰和装配等四个生产过程。其中成形是制品生产中最重要过程,其他三个过程视制品要求取舍。塑料制品生产过程和成形方法如图 12.7 所示。

可见塑料成形方法的种类繁多,其中主要有注射成形、压缩成形、压注成形、挤出成形、真空成形、中空吹塑成形。塑料成形方法的选择主要根据塑料的种类,零件的形状和尺寸以及生产批量的大小来选择。

12.2.1 注射成形

1. 注射成形原理

注射成形用于热塑性塑料和流动性较大的热固性塑料,约 60%~70%的塑料制品是用注射成形方法生产的。其成形原理如图 12.8 所示。塑料粒状在料斗内进行烘干之后,颗粒依靠重力从料斗送入料筒,塑料颗粒在料筒内经加热熔化至黏流状态,螺杆旋转、推进将熔

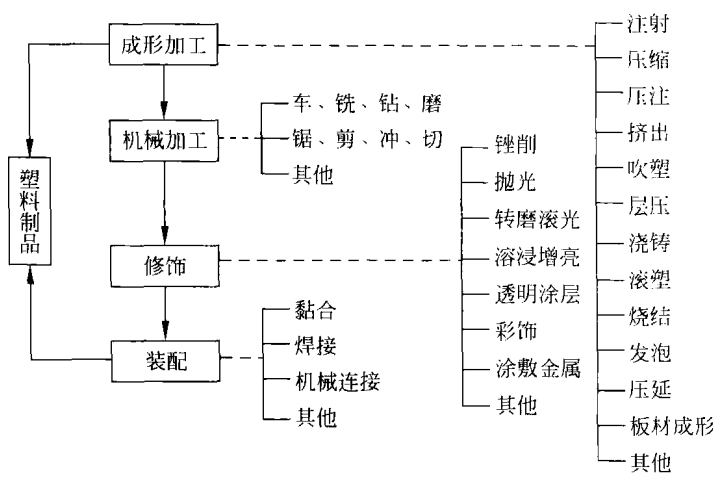


图 12.7 塑料制品的生产过程和成形方法

化塑料挤出喷嘴,以一定的速度和压力注入模具形腔中,塑料熔体在模具形腔中迅速冷却固化,开模可获得与模具形腔形状的零件制品。注射成形的特点是机械化、自动化生产,生产效率高,制品尺寸精度高,可压制形状复杂、薄壁(如电视机外壳)或有金属嵌件的塑料制品。缺点是设备和模具成本高。

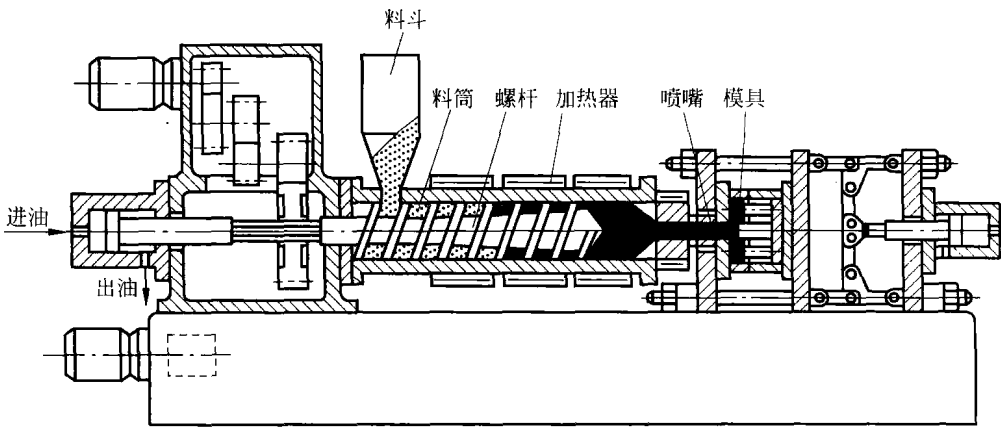


图 12.8 塑料注射成形原理示意图

2. 注射成形工艺过程

注射成形工艺过程如图 12.9 所示。

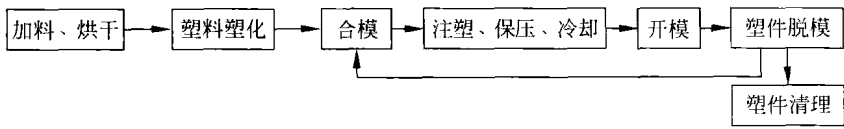


图 12.9 注射成形工艺过程

3. 注射成形设备与模具

注射成形设备是注射机,有柱塞式和螺杆式两种,其中,螺杆式注射机具有加热均匀、塑化良好、注射量大等优点,在生产中应用较多,尤其对于流动性差的塑料以及大、中型塑料制品的生产多用螺杆式注射机。注射机按外形结构特征分为卧式、立式、角式和螺旋式四种,应用较多的为卧式,如图 12.8 所示。常用的卧式注射机型号有:XS-ZY-30;XS-ZY-60;XS-ZY-125;XS-ZY-500;XS-ZY-1000 等。型号中的“XS”表示塑料成形机;“Z”代表注射机;“Y”代表螺杆式;末尾的数字代表最大注射量,用 g 表示。注射机主要由注射系统与合模系统组成。

注射模具是塑料制品成型的主要工艺装备,其种类较多,模具结构主要由定模和动模组成,如图 12.10 所示。定模安装在注射机的固定板上,动模安装在注射机的动模固定板上随注射机的合模系统一起运动。

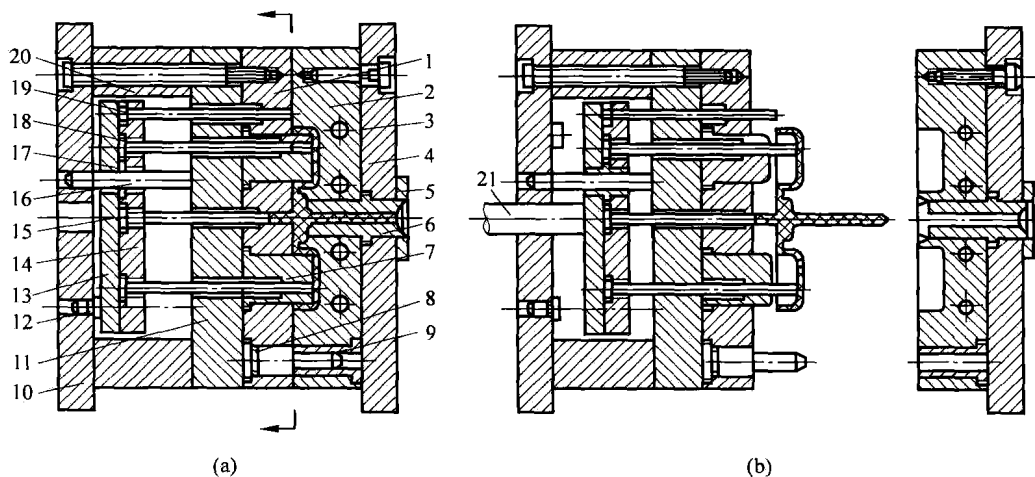


图 12.10 注射模结构图

- 1—动模板; 2—定模板; 3—冷却水道; 4—定模座板; 5—定位圈; 6—浇口套; 7—凸模; 8、9—导柱;
10—动模座板; 11—支撑板; 12—支撑柱; 13—推板; 14—推杆固定板; 15—拉料杆;
16—推板导柱; 17—推板导套; 18—推杆; 19—复位杆; 20—垫块; 21—注射机顶杆

12.2.2 挤出成形

挤出成形主要用于热塑性塑料,其成形原理如图 12.11 所示。粒状塑料从料斗送入螺旋推进室,然后由送料螺杆将原料送到加热室预热并使其受到压缩,迫使它经过模具流出,用水使其冷却变硬,以保持模具压出的形状。挤出法是一种快速廉价的成形方法,主要用于生产热塑性塑料的各种板材、管材和线材等塑料制品,此外还能生产凹角形状的制品。

常用挤出成形在金属芯线外包覆一层塑料绝缘套以制造电线和电缆。芯线由放线架上引出,先后通过除油装置和预热器,进入线、缆包层专用机头,在机头内包覆熔融的塑料层后引入冷却槽,热的包覆塑料层在冷却槽内冷却定形后,由牵引装置以恒定的转速送往收线架上卷绕成为电线产品。过程如图 12.12 所示。

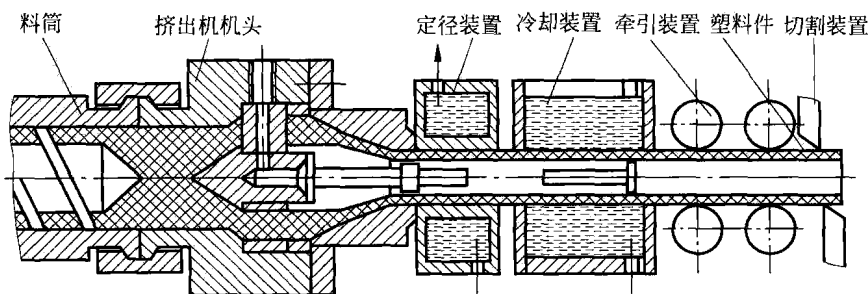


图 12.11 挤出成形原理

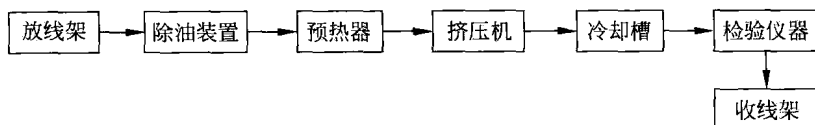


图 12.12 电线塑料包层工艺过程

挤出成形在塑料成形加工生产中占有重要地位,全世界塑料制品中,挤出成形制品约占 30%。它可以生产带塑料包覆层的工业产品(如电线、电缆等),以及各种截面的塑料型材。近年来,挤出成形在汽车和建筑行业的应用也日益广泛。

12.2.3 模压成形

模压成形又称压缩成形,主要用于热固塑料,其成形原理如图 12.13 所示。将颗粒或片状塑料装入加热至一定温度的下模模腔中,再合上模加压,同时加热模具,使塑料软化呈可塑状态。在外力作用下,已经软化的塑料流动并充满型腔,继而在热和压力的综合作用下固化成形。其成形工艺过程如图 12.14 所示

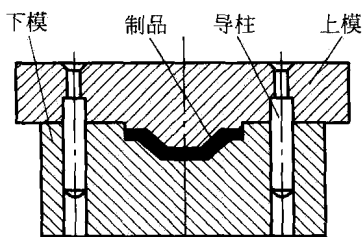


图 12.13 塑料模压成形原理示意图

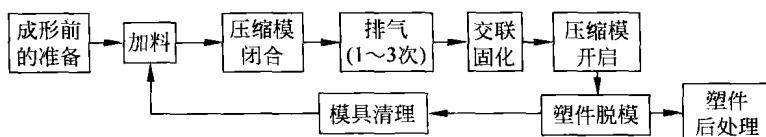


图 12.14 压缩成形工艺过程

12.2.4 压注成形

压注成形也称传递成形,将热固塑料加热熔化,并在外力作用下,使塑料通过模具浇口高速进入型腔,固化定形即可开模取件。原理如图 12.15 所示。

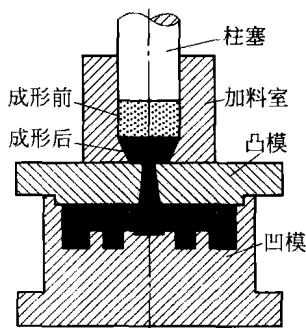


图 12.15 压注成形示意图

12.2.5 真空成形

真空成形也称吸塑成形,成形原理如图 12.16 所示,将塑料板或塑料薄膜固定在模具上,用辐射加热器件将其加热至软化温度,然后通过真空泵将塑料片或塑料薄膜与模具之间的空气抽出,直到使塑料片或塑料薄膜在大气压力作用下紧贴在模具型腔表面,使其成形,冷却定形后,再用压缩空气推动塑料件从模具中脱出。真空成形主要用于制作杯、盘、罩、壳体等敞口塑料制品。

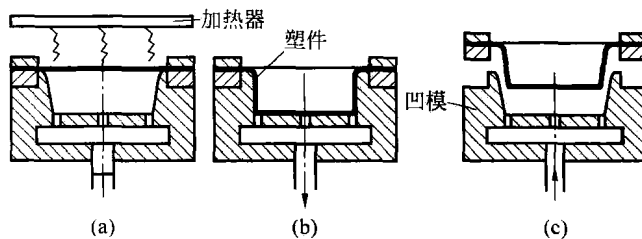


图 12.16 凹模真空成形工艺过程

(a) 加热；(b) 抽真空；(c) 吹气脱模

真空成形适合于热塑性塑料,如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、ABS 等。

12.2.6 吹塑成形

吹塑成形常用中空吹塑和薄膜吹塑成形等,中空吹塑成形是用挤出或注射成形的空心塑料型坯,趁热于半熔化状态时将其放入吹塑模具的型腔中,再将压缩空气通入型坯中,使其被吹胀并紧贴模具型腔的内壁而形成,冷却脱模后即得中空塑料制品。图 12.17 所示为

吹塑成形的工艺过程。吹塑成形与玻璃制品的吹制成形的原理和过程是一样的。一般用于热塑性塑料的成形,可生产各种容器和薄膜制品等。

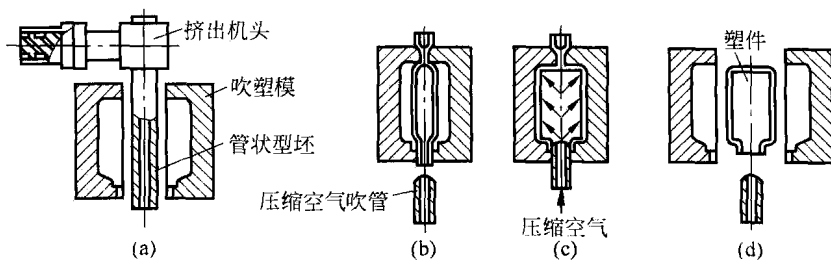


图 12.17 吹塑成形工艺过程

(a) 将挤出成形的管状型坯置于吹塑模中; (b) 合模; (c) 吹入压缩空气、定形; (d) 开模、取件

成形后的塑料制品多数可直接使用,但也有一些需要进一步加工。这些加工包括:机械加工、连接和表面处理等。

塑料的切削性能一般较好,可以在金属加工机床、木材加工机床或专用机床上进行各种形式的机械加工,如车、铣、刨、磨、钻、锯、锉、冲等。值得注意的是,塑料的导热性较金属材料低很多,强度、硬度也差,因此,加工时容易引起工件变形。塑料切削加工表面粗糙,有时还可能出现分层、崩落、开裂等现象;如果冷却条件不好,切削加工时还可能会使热固性塑料焦化,使热塑性塑料软化而成为废品。

塑料件的连接与装配有很多种,主要包括塑料与塑料、塑料与金属、塑料与其他非金属材料之间的连接与装配。除了一般的机械连接方法,还有焊接、黏合、溶剂黏结等连接方法。

塑料制品的表面修饰方法主要有涂漆、印刷、涂敷金属等。涂漆的主要目的是防止塑料老化,提高耐化学作用能力和起着色作用。涂敷金属主要是为了改变塑料制品的某些特性,如导电性、提高硬度和耐磨性、延缓老化、表面美观等。

12.3 橡胶成形工艺

橡胶也是重要的以有机高分子聚合物为基础的材料,在工业上应用相当广泛,可用于制作轮胎;动静态密封件;减振、防振件;传动件;运输胶带和管道;电线、电缆和电工绝缘材料;制动件等。橡胶行业中常将橡胶制品分为轮胎、胶带、胶管、胶鞋及橡胶工业制品五大类,橡胶工业制品包括除轮胎、胶管、胶带、胶鞋外的许多制品,如加油封、胶辊、空气弹簧、离合器、胶布、胶板等。从生产过程来看,橡胶制品可分为模塑制品和非模塑制品两大类。橡胶工业制品中的大多数(除胶布、胶片加工而成的橡皮船、氧气袋等产品外)均为模塑制品。橡胶制品的生产,一般要经过如图 12.18 所示的工艺流程。

橡胶是弹性体,既不能粉碎成粉末,也不能单纯加热到流动状态成形。因此,要使橡胶与其他配合剂均匀混合,必须用特殊的工艺方法。

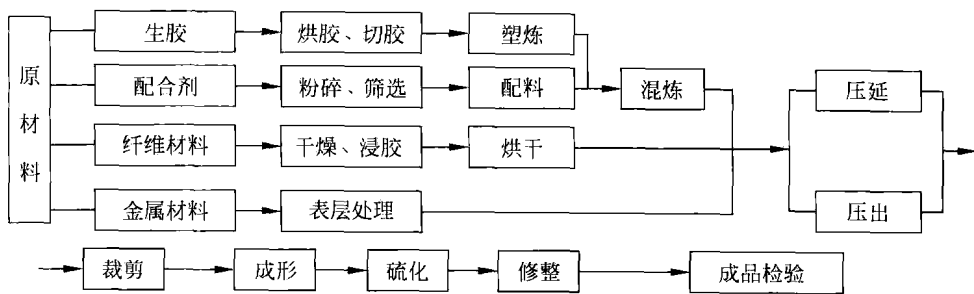


图 12.18 橡胶制品的生产工艺流程

12.3.1 橡胶的模压成形

模压成形在橡胶工业制品的生产中使用最为广泛。所谓模压成形,就是将准备好的橡胶半成品置于模具中,在加热加压的条件下,使胶料呈现塑性流动充满型腔,经一定的持续加热时间后完成硫化,再经脱模和修边后得到制品的成形方法。这种方法的主要设备是平板硫化机和橡胶压制模具。模压成形的设备成本较低,制品的致密性好,适宜制作各种橡胶制品、橡胶与金属或与织物的复合制品。

橡胶制品的模压成形过程包括加料、闭模、硫化、脱模及模具清理等操作步骤。其中最重要的是硫化过程,硫化过程的实质是橡胶线型分子链之间形成化学交联,随着交联度的增大,橡胶的定伸强度、硬度也会增大。抗张强度先是随着交联度的上升而逐渐上升,当达到一定值后,如果继续交联,抗张强度会急剧下降。扯断伸长率随交联度的提高而降低并逐渐趋于很小的值。在一定交联范围内,硫化胶的弹性增大,当交联度过大时,由于橡胶分子的活动受到影响弹性反而降低。所有这些说明,要想获得最佳的综合平衡性能,必须控制交联程度(即硫化程度)。硫化过程控制的主要因素是硫化温度、时间和压力。

12.3.2 压延成形

压延是生产高分子材料薄膜和片材的成形方法,既可用于塑料,也可用于橡胶,用于加工橡胶时主要生产片材(胶片)。

压延过程是利用一对或数对相对旋转的加热滚筒,使物料在滚筒间隙被压延而连续形成一定厚度和宽度的薄型材料。所用设备为压延机。加工时前面需用双辊混练机或其他混练装置供料,把加热、塑化的物料加入到压延机中;压延机各滚筒也加热到所需温度,物料顺次通过辊隙,被逐渐压薄;最后一对辊的辊间距决定制品厚度。

压延机的主体是一组加热的辊筒,按辊筒数目可分为两辊、三辊或更多;以排列方式分为 I 形、倒 L 形、L 形、Z 形、T 形、M 形等。压延过程如图 12.19 所示。

在压延成形过程中,必须协调辊温和转速,控制每对辊的速比,保持一定的辊隙存料量,调节辊间距,以保证产品外观及有关性能。离开压延机后片料通过引离辊,如需压花则需趁热通过压花辊,最后经冷却并卷取成卷。

如在最后一对辊间同时通过已经处理的纸张或织物,使热的塑料或橡胶膜片在辊筒压

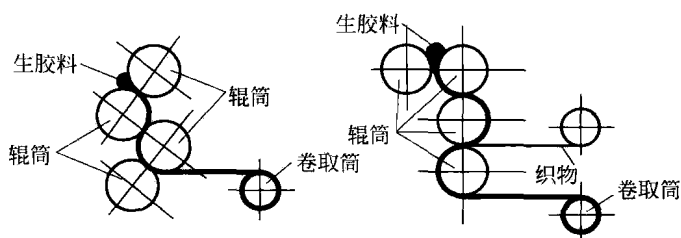


图 12.19 橡胶压延成形示意图

力下与这些基材贴合在一起,可制造出复合制品。这种方法称为压延贴合,对橡胶而言,又称贴胶。大家熟悉的人造革、地板革、壁纸等均是塑料与基材的复合制品。

12.3.3 注射成形

橡胶注射成形与塑料注射成形在所用设备与加工原理方面基本类似,是一种将胶料直接从机筒注入模具硫化的生产方法。橡胶注射成形是在专门的橡胶注射机上进行的,常用的有立式或卧式的螺杆或柱塞式注射机。在注射成形过程中,由于胶料在成形前一直处于运动状态受热,因此各部分的温度较压制成形时均匀,且橡胶制品在高温模具中短时即能完成硫化,制品的表面和内部的温差小,硫化质量较均匀。所以,注射成形的橡胶制品具有质量较好,精度较高,而且生产效率较高的工艺特点。橡胶注射工艺主要包括喂料塑化、注射保压、硫化、出模几个过程。图 12.20 所示为国产六模胶鞋注射机示意图。

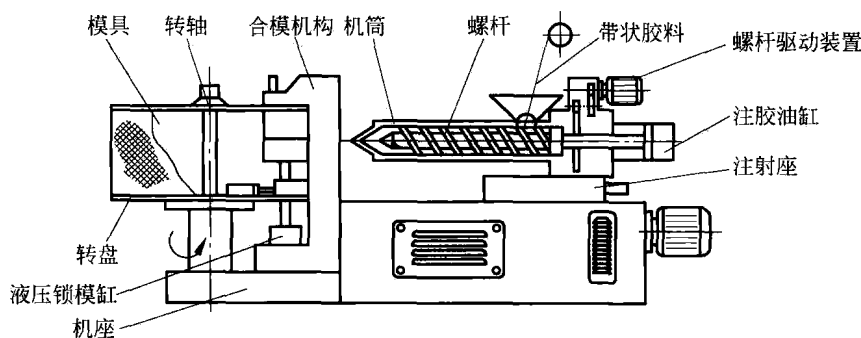


图 12.20 六模胶鞋注射机示意图

12.4 陶瓷材料的成形工艺

陶瓷是以离子键及共价键为主要结合力的无机非金属材料。根据陶瓷的化学组成、显微结构及性能的不同,可将陶瓷分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。前者是以黏土、长石和石英等为天然原料,经粉碎、成形及烧结而成,主要用于日用、建筑和卫生用品及电器、耐酸器皿、过滤器皿等。后者是以人工化合物为原料(如氧化物、氮化物、碳化物、硼化物及氮化物等)制成的陶瓷,它具有特殊的性质和功能,如高强度、高硬度、耐蚀、导电、绝缘、磁性、透光、

半导体以及压电、磁电、光电、电光、声光、磁光、超导、生物相容性等。它主要用在高温、机械、电子、宇航、医学工程等方面,成为近代尖端科学技术的重要组成部分。

陶瓷材料的成形技术就是将制备好的坯料用各种不同的工艺方法制成具有一定形状和尺寸的坯件,成形后的坯件仅为半成品,还需后续加工才成为成品。因此,成形工艺技术不仅直接影响成形坯件的质量,而且间接影响到后续加工质量甚至成品的质量。陶瓷成形技术发展很快,综合各种成形方法的特点,主要有三大类型,即注浆成形、可塑成形和压制成形。

12.4.1 注浆成形

将含有一定水分的流体状泥浆注入所需形状的石膏模内,泥浆中水分逐渐被多孔石膏吸收,泥料便沉积在石膏模内壁上,逐渐形成泥层并具有石膏模赋予的形状。随时间延长,泥层厚度增加,当达到所需厚度后,倾出多余泥浆,如图 12.21 所示。上述成形方法称为空心注浆法。为了缩短吸浆时间,加速注浆过程的进行,提高注件质量,可采用真空注浆、离心注浆、压力注浆等。对用石蜡调制成的瘠性浆料可进行加热加压注浆,称为热压注成形。

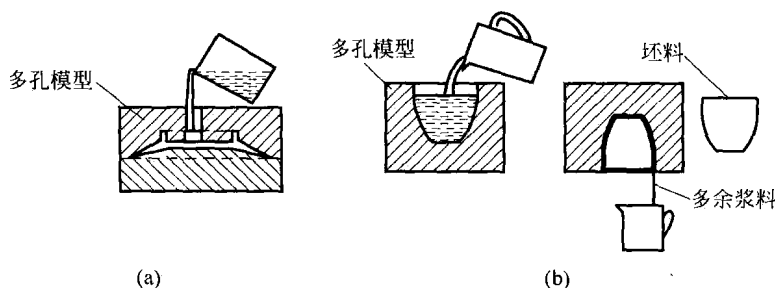


图 12.21 陶瓷注浆成形示意图

(a) 实心注浆; (b) 空心注浆

注浆成形适用于制造大型的、形状复杂的、薄壁的产品,这类产品一般不能或很难用其他方法来成形。

12.4.2 可塑成形

加入水分或塑化剂,将坯料混合,捏制成为有塑性的料团,然后,通过手工或各种成形机械成形。

可塑成形是古老的一种成形方法,但至今仍为常用的成形方法,主要有挤压法、车坯法、湿压法(包括旋坯法、按压法、冷模湿压法和热模湿压法)、轧模法等。

12.4.3 压制成形

将含有一定水分的粒状粉料填充到模型之中,施加压力,使之成为具有一定形状和强度的陶瓷坯体。粉料含水量为 3%~7% 时为干压成形;粉料含水量为 8%~15% 时为半干压

成形。对于一些形状复杂、细而长和大件产品以及一些质量要求高的产品,则采用等静压法成形。等静压成形是指粉料的各个方向同时均匀受压。传递压力的介质通常为液体。由于液体压缩性很小,而且能均匀传递压力,所以用等静压法压制出来的坯体密度大而均匀。在室温下操作的等静压法称为常温(冷)等静压;高温下操作的等静压,称热等静压。

压制成形的特点是工艺过程简单,坯体收缩小,致密度高,产品尺寸精确,且对坯料的可塑性要求不高。

12.5 复合材料的成形工艺

复合材料成形工艺的特点主要取决于复合材料的基体。一般情况下其基体材料的成形工艺方法也常常适用于以该类材料为基体的复合材料,特别是以颗粒、晶须和短纤维为增强体的复合材料。例如,金属材料的各种成形工艺多适用于颗粒、晶须及短纤维增强的金属基复合材料,包括压铸、精铸、离心铸、挤压、轧制、模锻等。而以连续纤维为增强体的复合材料的成形则往往是完全不同的,或至少是需要采取特殊工艺措施的。复合材料成形工艺和其他材料的成形工艺相比,有一个突出的特点:材料的形成与制品的成形是同时完成的,即复合材料制品的生产过程也是复合材料本身的生产过程。因此,复合材料的成形工艺水平直接影响材料或制品的性能。一种复合材料制品可能有多种成形方法,在选择成形方法时,除了考虑基体和增强材料的类型外,还应根据制品的结构形状、尺寸、用途、产量、成本及生产条件等因素综合考虑。

本节对复合材料成形方法的介绍是以基体材料来分类的。

12.5.1 树脂基复合材料成形

1. 热固性树脂基复合材料的成形

(1) 手糊成形 用纤维作为增强材料,树脂作为基体材料(先将树脂配制成胶液)在模具上手工铺敷成形,树脂固化后脱模,从而获得复合材料制品的一种工艺方法。手糊成形的工艺流程如图 12.22 所示。

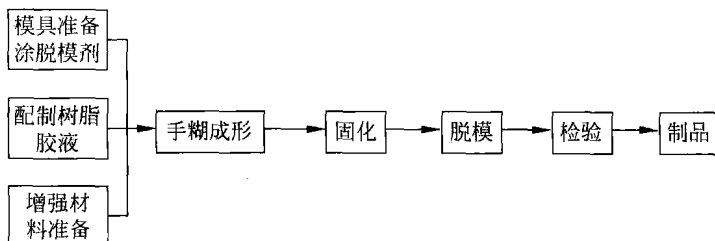


图 12.22 手糊成形的工艺流程

手糊成形主要用于不需加压、室温固化的不饱和聚酯树脂和环氧树脂为基体的复合材料成形。其特点是不需专用设备,工艺简单,操作方便,但劳动条件差,产品精度较低,承载能力低。一般用于使用要求不高的大型制件,如船体、储罐、大口径管道、汽车部件等。

手糊成形还用于热压罐、压力袋、压机等模压成形方法的坯件制造。

(2) 层压成形 层压成形是制取复合材料的一种高压成形工艺,此工艺多用纸、棉布、玻璃布作为增强填料,以热固性酚醛树脂、芳烃甲醛树脂、氨基树脂、环氧树脂及有机磷树脂为黏结剂,其工艺过程如图 12.23 所示。

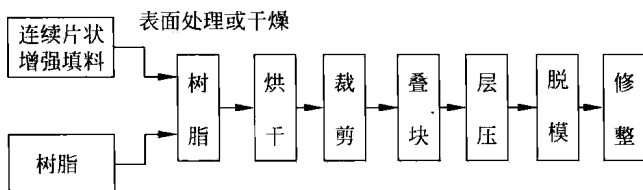


图 12.23 层压成形的工艺流程

上述过程中,增强填料的浸渍和烘干在浸胶机中进行。

增强填料浸渍后连续进入干燥室以除去树脂液中含有的溶剂以及其他挥发性物质,并控制树脂的流动度。

浸胶材料层压成形是在多层压机上完成的。在进行热压前需按层压制品的大小,选用适当尺寸的浸胶材料,并根据制品要求的厚度(或重量)计算所需浸胶材料的张数,逐层叠放后,再于最上和最下两面放置 2~4 张表面层用的浸胶材料。面层浸胶材料含树脂量较高、流动性较大,因而可以使层压制品表面光洁美观。

(3) 压机、压力袋、热压罐模压成形 这几种成形方法均可与手糊成形或层压成形配套使用,常作为复合材料层叠坯料的后续成形加工。

用压机施加压力和温度来实现模具内制件的固化成形方法即为压机模压成形。该成形方法具有生产效率高、产品外观好、精度高、适合于大批量生产的特点,但要求模具精度高,制件尺寸受压机规格的限制。

压力袋模压成形是用弹性压力袋对放置于模具上的制件在固化过程中施加压力成形的方法。压力袋由弹性好、强度高的橡胶制成,充入压缩空气并通过反向机构将压力传递到制件上,固化后卸模取出制件。使用温度应在固化温度以上。图 12.24 为压力袋模压成形示意图。

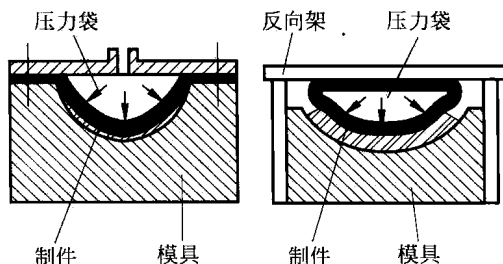


图 12.24 压力袋模压成形示意图

这种成形方法的特点是工艺及设备均较简单,成形压力不高,可用于外形简单、室温固化的制件。热压罐模压成形是利用热压罐内部的程控温度和静态气体压力,使复合材料层叠坯料在一定温度和压力下完成固化及成形过程的工艺方法。热压罐是树脂基复合材料固化成形的专用设备之一。该工艺方法所用模具简单,制件压制紧密,厚度公差范围小;但能

源利用率低,辅助设备多,成本较高。

(4) 喷射成形 将不饱和树脂胶液与切短的玻璃纤维在喷射过程中混合,并通过喷射机的喷枪喷射到模具上,至一定厚度时,用压辊排泡压实,再继续喷射,直至完成坯件制件(见图 12.25),然后固化成形。喷射成形也称为半机械化手糊成形,有代替手糊成形的趋势,主要用于不需加压、室温固化的不饱和聚酯树脂。

喷射成形方法生产效率高,劳动强度低,节省原材料,制品形状和尺寸受限制小,产品整体性好;但复合材料的树脂含量高,制品强度低,工作环境差。喷射成形适于制造船体、浴盆、汽车车身等大型部件。

(5) 压注成形 通过压力将树脂注入密闭的模腔,浸润其中的纤维织物坯件,然后固化成形的方法。其工艺过程是先将织物坯件置入模腔内,再将另一半模具闭合,用液压泵将树脂注入模腔内使其浸透增强织物,然后固化(见图 12.26),

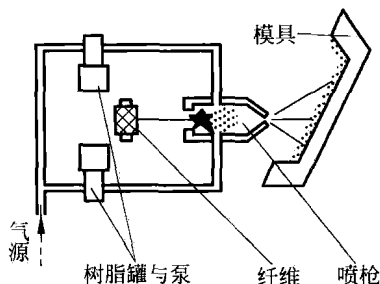


图 12.25 喷射成形示意图

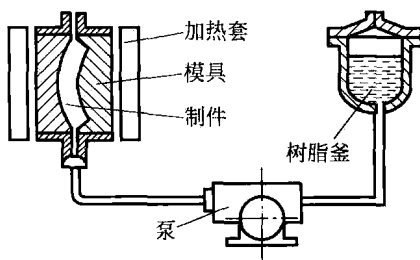


图 12.26 压注成形示意图

该成形方法工艺环节少,制件尺寸精度高,外观质量好,一般不需要再加工,但工艺难度大,生产周期长。

以上介绍的均为热固性树脂基复合材料的成形方法。实际上,针对不同的增强体及制件的形状特点,成形方法远不止这些。例如,大批量生产管材、棒材、异形材可用拉挤成形方法,管状纤维复合材料的管状制件可采用搓制成形方法。

2. 热塑性复合材料成形

热塑性树脂的特性决定了热塑性树脂基复合材料的成形不同于热固性树脂基复合材料。

热塑性树脂基复合材料在成形时,基体树脂不发生化学变化,而是靠其物理状态的变化来完成的。其过程主要由熔融、融合和硬化三个阶段组成。已成形的坯件或制品,再加热熔融后还可以二次成形。颗粒及短纤维增强的热塑性材料,最适用于注射成形,也可用模压成形;长纤维、连续纤维、织物增强的热塑性复合材料要先制成预浸料,再按与热固性复合材料类似的方法(如模压)压制成形。形状简单的制品,一般先压制出层压板,再用专门的方法二次成形。

由于热塑性树脂及热固性复合材料的很多成形方法均适用于热塑性复合材料的成形,故在这里不再重复介绍。

12.5.2 金属基复合材料成形

金属基复合材料主要是以纤维、晶须、颗粒等为增强材料。其成形过程常常也是基体与增强体复合的过程。复合工艺大致可以分为固态法(如扩散结合、粉末冶金)和液相法(如压铸、精铸、真空吸铸、共喷射等)。由于制取金属基复合材料最大的困难是解决好增强材料与基体金属的界面问题。不论采用哪种方法制取金属基复合材料,进行复合时都必须经过高温,以使增强材料与基体之间通过原子扩散达到牢固结合。然而,扩散或反应过度,则会导致增强材料特别是纤维损伤(相容性差);如果它们之间没有反应,相互独立(润湿性差),就会结合不牢。这两种情况都会使复合材料失去意义。因此,这类复合材料工艺复杂,界面反应控制困难,成本较高,故应用的成熟程度远不如树脂基复合材料,应用范围小。目前,主要应用于航空、航天领域。

1. 粉末冶金法

粉末冶金法是制备金属复合材料,尤其是非连续增强体金属基复合材料的方法之一,其工艺是将晶须或颗粒增强材料与金属粉末均匀混合,在模具内加压烧结成形。从原理上讲,粉末冶金法也是利用加压加热使基体金属与增强材料通过原子扩散实现紧密结合的,这与扩散结合法相同。它们之间的区别是:粉末冶金法是用金属粉末作为基体的原料,使用的增强材料的形态是颗粒或晶须(短纤维);而扩散结合法用的是连续纤维(长纤维)。粉末冶金法的优点与扩散结合法相同,也是由于加热温度较低而对增强材料的化学损伤小。但是在混料和热压过程中对增强材料(晶须或短纤维)的机械损伤大,增强材料所占体积分数不高,基体金属粉末制备技术要求高。粉末冶金法制造的金属基复合材料,如碳化硅晶须、颗粒增强的铝合金、镁合金、钛合金等,已成功应用于飞机构件、涡轮发动机叶片、火箭发动机壳体、活塞、连杆等。

2. 热压扩散结合法

热压扩散结合法是连续纤维增强金属基复合材料最具代表性的一种常用的固相复合工艺。即按照制件形状、纤维体积密度及增强方向要求,将金属基复合材料预制条带及基体金属箔或粉末布,经裁剪、铺设、叠层、组装,然后在低于复合材料基体金属熔点的温度下加压并保持一定时间;基体金属产生蠕变与扩散,使纤维与基体间形成良好的界面结合,得到复合材料制件。

与其他复合工艺相比,该方法易于精确控制,制件质量好,但由于型模加压的单向性,使该方法限于制作较为简单的板材、某些型材及叶片等制件。

3. 压铸、离心铸及熔模精铸

压铸、离心铸及熔模精铸均属液相法复合工艺。

压铸是在高压下将液态金属基复合材料注射进入铸型凝固后成形的铸造工艺方法。可制造高尺寸精度、高表面质量的复合材料铸件,是一种适合大批量生产条件的方法,主要用于汽车、摩托车等零件生产。

离心铸造仍然是利用铸型旋转产生的离心力使溶液中密度不同的增强体和基体合金分离至内层或外层形成复合铸件的工艺方法。该方法应用限于管状、环状零件。

熔模精铸是应用传统的熔模精铸技术制取高尺寸精度和表面质量的金属基复合铸件的工艺方法。该方法生产工艺过程较复杂,生产成本相对较高,主要用于制造复杂薄壁零件。

12.5.3 陶瓷基复合材料成形

陶瓷基复合材料的成形方法根据增强材料的形态不同分为两类。一类是针对短纤维、晶须、晶片和颗粒等增强的陶瓷基复合材料,基本采用传统的陶瓷成形工艺,即热压烧结和化学气相渗透法。另一类针对连续纤维增强的陶瓷复合材料,有料浆浸渍热压法和化学气相渗透法。

1. 料浆浸渍热压成形

料浆浸渍热压成形主要工艺过程为:将纤维黏附一层配置好的陶瓷粉体浆料,然后将附有浆料的纤维排布成一定结构的坯体,再经过干燥、除去有机新结剂,最后热压烧结成为陶瓷复合材料制品。

该方法广泛用于陶瓷基复合材料的成形,其优点是不损伤增强体、不需成形模具,能制造大型零件,工艺较简单;缺点是增强体在基体中的分布不太均匀。

2. 化学气相渗透工艺

化学气相渗透法(又称为 CAI 工艺)是先将纤维做成所需形状的形体,然后在预成形体的空隙中通入适当的气体,该气体能够发生热分解或化学反应,并且反应的产物是所需要的陶瓷,反应生成的陶瓷沉积在纤维表面,直至预成形体中各空穴被完全填满。采用化学气相渗透法可以获得高致密度、高强度、高韧性的复合材料制品。

复习思考题

1. 常用的塑料成形工艺有哪些?
2. 塑料成形的方法及塑料模的种类有哪些?
3. 试比较注射成形、挤压成形和压缩成形的原理及工艺过程的异同点。
4. 粉末冶金制品有哪几种成形方法?各有什么特点?
5. 塑料制品有哪几种成形方法?并简述各种成形过程。
6. 简述橡胶制品的成形加工过程。
7. 复合材料按基体类型可分为哪几种?并简述各种成形方法。

参 考 文 献

- [1] 傅水根,李双寿. 机械制造实习. 北京:清华大学出版社,2009
- [2] 张学政,李家枢. 金属工艺学实习教材. 北京:高等教育出版社,2004
- [3] 刘胜青. 机械训练. 成都:四川大学出版社,2002
- [4] 傅水根. 机械制造工艺基础. 北京:清华大学出版社,2004
- [5] 胡大超. 机械制造工程实训. 上海:上海科学技术出版社,2004
- [6] 吴鹏,迟剑锋. 工程训练. 北京:机械工业出版社,2005
- [7] 金禧德. 金工实习. 北京:高等教育出版社,2002
- [8] 赵玉奇. 机械制作基础与实践. 北京:机械工业出版社,2003
- [9] 张木青,于兆勤. 机械制造工程训练教材. 广州:华南理工大学出版社,2004
- [10] 谷春瑞,韩广利,曹文杰. 机械制造工程实践. 天津:天津大学出版社,2004
- [11] 邓文英. 金属工艺学(上、下册). 北京:高等教育出版社(第三版),2004
- [12] 柳秉毅. 材料成形工艺基础. 北京:高等教育出版社,2005
- [13] 张力真. 金属工艺学实习教材. 北京:高等教育出版社,2000
- [14] 杨伟群. 数控工艺培训教程. 北京:清华大学出版社,2002
- [15] 黄康美. 数控加工实训教程. 北京:电子工业出版社,2002
- [16] 吴海华,骆莉. 工程实践(非机类). 武汉:华中科技大学出版社,2004
- [17] 罗河胜. 塑料材料手册. 广东:广东科技出版社,1988
- [18] 朱世范. 机械工程训练. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2003
- [19] 林建榕. 工程训练. 北京:航空工业出版社,2004
- [20] 刘峰. 机械制造工程训练. 济南:石油大学出版社,2003
- [21] 王瑞芳. 金工实习. 北京:机械工业出版社,2001
- [22] 苏芳庭. 金属工艺学. 北京:高等教育出版社,1990
- [23] 郑晓峰. 数控技术及应用. 北京:机械工业出版社,2004
- [24] 倪为国. 金属工艺学实习教材. 天津:天津大学出版社,1994
- [25] 杜君文. 数控技术. 天津:天津大学出版社,2002
- [26] 齐宝森,王成国. 机械工程非金属材料. 上海:上海交通大学出版社,1996
- [27] 侯英玮. 材料成形工艺. 北京:中国铁道出版社,2002
- [28] 王培铭. 无机非金属材料学. 上海:同济大学出版社,1999
- [29] 韩建民. 材料成形工艺技术基础. 北京:中国铁道出版社,2002
- [30] 马保吉. 机械制造工程实践. 西安:西北工业大学出版社,2003
- [31] 杨慧智. 机械制造基础实习. 北京:高等教育出版社,2002
- [32] 沈其文. 材料成型技术基础. 武汉:华中理工大学出版社,1999
- [33] 郑晓,陈仪先. 金属工艺学实习教材. 北京:北京航空航天大学出版社,2004